Aus dem Psychologischen Institut der Universität Marburg

Über die Dunkeladaptation, mit besonderer Rücksicht auf das Verhältnis von Moment- und Daueradaptation, und das Purkinjesche Phänomen unter dem Gesichtspunkte der typologischen Methode

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen Philosophischen Fakultät
der Philipps-Universität zu Marburg a. L.

vorgelegt von

Alois Heinemann
aus Osnabrück

Mit 15 Abbildungen im Text

Marburg
1928
Johann Ambrosius Barth / Leipzig

Als Dissertation angenommen am 20. Juni 1927
Referent: Prof. Dr. E. R. Jaensch
Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juni 1927
Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Diese Arbeit erscheint gleichzeitig in der

„Zeitschrift für Sinnesphysiologie"
Bd 60 (1929)
Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig

§ 1

Theoretische Einführung

Es ist das grofse Verdienst Herings, die grundlegende Bedeutung des variablen Empfindlichkeitszustandes klar hervorgehoben und diesen Faktor besonders in der Physiologie des Gesichtssinnes schärfer formuliert zu haben. Nach ihm ist eine strenge Trennung zu beachten zwischen der Bedeutung dieser physiologischen Komponente und der physikalischen Natur eines Reizes. Aus beiden resultiert der Effekt. So ist z. B. die Wirkung eines Lichtreizes auf die lebendige Substanz einerseits abhängig von quantitativen und qualitativen Eigenschaften des Reizes, also von Intensität, Wellenlänge und Weifsgehalt, andererseits aber ist sie eine Funktion des jeweiligen subjektiven Stimmungszustandes und der antagonistischen Wechselwirkung der Netzhautelemente. Nach neueren Forschungen besteht hier aber eine Subjektivität in noch weiter gehendem Sinne, indem diese Faktoren auch nicht für alle Menschen gleich, sondern von der psycho-physischen Persönlichkeit und ihrem Typus abhängig sind.

Das was in der physiologischen Forschung als Erregbarkeits- oder Stimmungszustand bezeichnet und in der älteren Entwicklungsphase in dem ganz allgemeinen Terminus „Akkommodation“ zusammengefafst wurde, wurde zum ersten Male präzisiert durch die bekannten Untersuchungen Auberts, der den Namen „Adaptation“ einführte. Aubert suchte unter günstigen Konstellationen die Reizschwelle des Sehorgans zu bestimmen. Hierzu dienten ihm messende Beobachtungen, die er an sich selbst und in einem vollständig abgedunkelten Raume an dem mehr oder minder starken Glühen eines Platindrahtes ausführte (2). Nach zwei Stunden langem Aufenthalt im Dunkelzimmer war die Empfindlichkeit nach Auberts Berechnungen auf das Fünfunddreifsigfache des Anfangswertes gestiegen. Wenn auch spätere Untersuchungen die Zunahme der Empfindlichkeit in weit höherem Mafse erwiesen, so dürfte dies wohl in der Ungenauigkeit und Unreinheit der Versuchsbedingungen bei Aubert zu suchen sein. Doch unabhängig hiervon gebührt Aubert das Verdienst, hiermit die Anregung zu weiteren systematischen Untersuchungen auf dem Gebiete der Adaptation gegeben zu haben. Von vielen namhaften Forschern, die nach ihm unter mannigfaltigen Variationen der Versuchsbedingungen, die Kenntnisse auf diesem Gebiete und inbesondere deren Abhängigkeit von Faktoren wie Intensität, Zeit, Ausdehnung und Lokalisation des Reizes auf der Netzhaut usw. aufdeckten, seien hier nur Charpentier, Treitel, Piper und Tschermak genannt. Es wurden besondere Apparate konstruiert, die es ermöglichten, den Reiz in feinsten Abstufungen zu variieren. Wenn auch das Foerstersche Photoptometer noch nicht gröfseren Ansprüchen genügte und praktisch wohl nur für klinische Bedürfnisse, zur Diagnose gröberer Funktionsstörungen des Dämmerungsehens Wert hatte, so haben wir doch in dem von Nagel konstruierten Adaptometer einen Apparat, der es ermöglicht, einen farblosen Lichtreiz in feinsten Abstufungen zu geben und der letztere zugleich auf einer Skala anzeigt. Piper (36) gab den Verlauf der Empfindlichkeitssteigerung in einer Kurve wieder, indem er den reziproken Wert des Reizes als Empfindlichkeit festsetzte. Dadurch, dafs nun die Empfindlichkeit als Funktion der Zeit dargestellt wurde, konnte man den Verlauf, bzw. Anstieg der Empfindlichkeit in seinen einzelnen Phasen verfolgen. Eine bessere Veranschaulichung des typischen Verlaufs der Adaptation ermöglicht jedoch die logarithmische

Kurve, die Best (3) verwendete. Hier werden die Ordinaten von dem Logarithmus des reziproken Reizzuwachses gebildet. Es liegt hier die Vorstellung des Weber-Fechnerschen Gesetzes zugrunde, wonach die Empfindungen proportional den Logarithmen der zugehörigen Reize wachsen, also $E = k \cdot \log R$.

Von der Dauer- oder Dunkeladaptation unterscheidet sich die Helladaptation. Der Unterschied liegt jedoch nicht im Quantitativen, sondern es handelt sich bei der Daueradaptation im Wesentlichen um das Infunktionstreten eines ganz neuen Sehapparates. Diese Tatsache fand einen scharfen Ausdruck in der v. Kries erweiterten Duplizitätstheorie. Diese Theorie fundiert in einer Hypothese die 1866 von M. Schultze aufgestellt wurde, und die ihrerseits wieder ihre Grundlage in den anatomischen Verhältnissen der Netzhaut hatte. Nach dieser Hypothese vermitteln die Stäbchen nur einfache Lichtempfindungen, während die Zapfen die Organe der Farbenperzeption sind. Gestützt wurde diese Hypothese einerseits von der experimentell erwiesenen Tatsache der Abnahme der Farbenempfindlichkeit nach der Peripherie der Netzhaut hin, andererseits aber von dem hiermit korrespondierenden anatomischen Befunde der Netzhaut, wonach in der Peripherie die Stäbchen den Zapfen an Zahl weit überlegen sind. Hinzu kam noch ein vergleichender anatomischer Befund in den Netzhäuten verschiedener Tiere, wonach verschiedene Tagtiere vorwiegend Zapfen besitzen, manche Nachttiere dagegen vorwiegend Stäbchen. Wenn die Begründung, die M. Schultze seiner Hypothese gab, auch in vielen Teilen nicht durchgreifend war, so war seiner Hypothese doch ein richtiger Kern eigen, der von 2 Forschern, Parinaud und v. Kries, unabhängig voneinander aufgegriffen und auf exaktere Grundlage gestellt wurde. Diese neue Theorie, von v. Kries „Duplizitätstheorie" genannt, brachte zum Ausdruck, daſs der morphologischen Zweiheit von Netzhautelementen eine funktionelle Zweiheit entspricht, eben das schon oben erwähnte Tagessehen und das Dämmerungssehen. Das Dämmerungssehen sei eine Funktion der Stäbchen und wirke durch Vermittlung des Sehpurpurs, der im Hellen eine Ausbleichung, im Dunkeln aber eine Regeneration erfahre. Diese Theorie, die mit dem Vorzug gröſster Konkretheit eine fast restlose Übereinstimmung mit anatomischen Feststellungen und physiologischen Experimenten verband, war

geeignet, eine grofse Fülle von Erscheinungen auf eine sehr einleuchtende und zwanglose Weise zu erklären.

In neuerer Zeit aber häufen sich Untersuchungsergebnisse, die zwar nicht ein Verlassen, wohl aber eine Erweiterung der Duplizitätstheorie erfordern, und zwar so, dafs letztere noch selbst in diese Erweiterung eingeschlossen bleibt. Es ist hier aber noch nicht der geeignete Ort, schon jetzt auf die von G. E. Müller begründete Theorie der „rhodogenetischen Hemmung" und die von E. R. Jaensch vertretenen Theorien der Funktionsschichten im Sehen näher einzugehen. Diese Theorien vermögen unter Beibehaltung des richtigen Kernes der von Kriesschen Duplizitätstheorie von umfassenderem Gesichtspunkte aus dem Dämmerungssehen und seinen Phänomenen eine allgemeinere Erklärung zu geben. Es ist zweckmäfsiger, erst im Anschlufs an die Darlegung dieser Untersuchungen auf eine eingehende und kritische Stellungnahme zu diesen Theorien zurückzukommen.

Es sollte hier durchaus keine lückenlose geschichtliche Entwicklung der Tatsachen und Theorien gegeben werden, die sich an die Erscheinungen der Dunkeladaptation angeschlossen haben. Es mufste aber das Wichtigste jener Forschungen hervorgehoben werden, die von den hier darzulegenden Untersuchungen berührt werden. Aus dem gleichen Grunde mufs auch hier die Frage des Purkinjeschen Phänomens noch kurz behandelt werden.

Schon Goethe (11) wies in seiner „Farbenlehre" darauf hin, dafs auf Gemälden in der Dämmerung die grünen und blauen Farben mehr hervortreten als im hellen Tageslicht. Eine erste, eingehendere Analyse dieses Phänomens gab Purkinje (38) im Jahre 1825. Nach ihm haben dann viele Forscher diese Tatsache zu erklären versucht, ohne dafs es aber bis jetzt gelungen wäre, eine Theorie hierüber aufzustellen, die allen Einzelheiten des Phänomens gerecht würde. Eine Erklärung Seebecks (43), der die Erscheinung auf die in der Dämmerung zunehmende Diffusion der kurzwelligen Strahlen zurückführte, konnte durchaus nicht genügen, da das Phänomen sowohl bei künstlicher wie auch bei natürlicher Dämmerung in fast gleichem Mafse eintritt. Helmholtz (12) suchte das Phänomen in einer kurzen, mathematischen Formulierung zu erfassen, indem er den Satz prägte: „Die Empfindungsstärke für verschiedenfarbiges Licht ist eine verschiedene Funktion der Lichtstärke." Sowohl seine wie auch eine ähnliche Ansicht A. Königs (24) waren ungenügend, da beide Erklärungen

sich nur mit den Intensitätsverhältnissen befafsten, während für das Zustandekommen des Phänomens neben diesem Faktor nach Hering auch die Tatsache der Dunkelstimmung entscheidend wird. König führte als erster Untersuchungen bezüglich der Helligkeitsverteilung am lichtschwachen Spektrum aus; er fand, dafs bei vermindeter Intensität das Maximum der Helligkeit sich vom Gelb bei 590 $\mu\mu$ mehr und mehr zum grün bei 535 $\mu\mu$ verlagere. Parallel hiermit gingen Untersuchungen von Anatomen und Physiologen über die Zersetzung des Sehpurpurs unter dem Einfluſs der Intensität und Qualität des Lichtes. Der erste, welcher die interessanteste Eigenschaft des Sehpurpurs, seine hochgradige Lichtempfindlichkeit, entdeckte, war Boll (12). Dann folgen genauere systematische Untersuchungen von Kühne, König, Abelsdorff, Trendelenburg u. a. (12). Man hat den Sehpurpur in den Stäbchen aller untersuchten Wirbeltiere gefunden, auch in denen des Menschen. Wo die Stäbchen fehlen, findet sich auch kein Sehpurpur. Besonderer Wert wurde auf die quantitativen Feststellungen über die Absorption der verschiedenen monochromatischen Lichter durch den Sehpurpur gelegt. Je stärker die Absorption einer Lichtart im Sehpurpur ist, desto stärker ist ihre Bleichungswirkung. Es war besonders Trendelenburg, welcher die Bleichungswerte genau ermittelte. Ein Maximum der Wirkung findet sich im grünen Licht etwa bei 530 $\mu\mu$. Nach der Ausbleichung des Sehpurpurs erfolgt im Dunkeln die Regeneration. Diese Tatsachen, die wie schon oben erwähnt, die exakten Grundlagen der Duplizitätstheorie bilden, waren somit in gleichem Maſse geeignet, auch eine Basis für eine einfache Erklärung des Purkinjeschen Phänomens zu bilden, indem eben dieses der besonderen, selektiven Perzeptivität der Stäbchen bzw. des Sehpurpurs zugeschoben wurde. Diese Annahme schien um so mehr Berechtigung zu haben, als wieder die Untersuchungen verschiedener Forscher, wie von v. Kries und Nagel (12), das Purkinjesche Phänomen in der fovea centralis als fehlend erwiesen, was seinerseits wieder korrespondierte mit der anatomischen Tatsache des Fehlens der Stäbchen in der Netzhautgrube.

Besonders sei aber hier darauf hingewiesen, dafs Untersuchungsergebnisse von Koster (25), Shermann (44) und Tschermak (48) dem Ausfall des Purkinjeschen Phänomens in der fovea centralis widersprechen. Gegen die Annahme, dafs das Substrat des Purkinjeschen Phänomens ausschliefslich im

Sehpurpur zu suchen sei, sprechen ebenfalls Untersuchungen des hiesigen Institutes, die das Auftreten dieses Phänomens auch im Tagessehen erbrachten (4). Im selben Sinne sprechen auch Untersuchungsergebnisse von v. Hess (17), Katz u. Revesz (22), die zeigen, dafs die nur zapfenhaltigen Netzhäute mancher Tagvögel, (z. B. auch der Hühner) und ebenfalls die der Schildkröten in grofsem Umfange adaptationsfähig seien. Für die Wertung der einander teils widersprechenden Theorien dürfte dann auch noch ein Befund von v. Kries ins Gewicht fallen, der das Dämmerungssehen als von leicht bläulichem Tone ansieht, eine Tatsache, die von Kroh (27) experimentell bestätigt wurde.

Wenn erst zum Schlufs dieser theoretischen Einführung E. Hering eingehender erwähnt wird, der historisch schon früher in die Erörterung eingreift, so geschieht das, weil an ihn unsere Untersuchungen anknüpfen, denn der Begriff der Momentadaptation, den diese Arbeit in der Hauptsache mit zum Gegenstande hat, taucht bei Hering zum ersten Male auf. Hering war es, der entgegen den Untersuchungen von v. Helmholtz und A. König das Augenmerk auf einen neuen, für das Zustandekommen des Purkinjeschen Phänomens erforderlichen Faktor lenkte, auf die Gesamtherabstimmung des Auges. „Durch Herings Darlegung war für die weitere Untersuchung dieser und verwandter Fragen eine ganz neue Basis geschaffen und die Forderung einer prinzipiellen und praktischen Sonderung des physiologischen Adaptationsfaktors und des physikalischen Intensitätsfaktors gestellt" (Tschermak 48.) Das Purkinjesche Phänomen nimmt in der Heringschen Farbentheorie eine ganz besondere Stellung ein. In seiner grundlegenden Schrift: „Über das Purkinjesche Phänomen" bringt er in der Hauptsache 4 Thesen zum Ausdruck. Diese sind:

1. Die gemeinschaftliche Herabsetzung der Lichtstärke zweier Farben genügt nicht zur Erzeugung des Purkinjeschen Phänomens.
2. Die blofse Stimmungsänderung der betroffenen Sehfeldstellung genügt, um bei ungeändert passender Lichtstärke der Farben das Purkinjesche Phänomen herbeizuführen.
3. Das Purkinjesche Phänomen charakterisiert sich ebenso sehr durch die Sättigkeitsänderung der Farben als auch durch Änderung ihres Helligkeitsverhältnisses. Die Sättigkeitsänderung ist eine „conditio sine qua non" des Purkinjeschen Phänomens.
4. Die Helligkeit zentral gesehener, gleich heller, verschiedenfarbiger Felder ist auf der Netzhautperipherie im Sinne des Purkinjeschen

Phänomens verschoben. Dieses ist also durch bloſsen Wechsel der Sehfeldstellen zu erzeugen.

Auf diese Thesen wird ebenfalls gegen Ende dieser Arbeit noch zurückzukommen sein. Hering benutzte zu seinen Untersuchungen 2 Räume; in der offenen Verbindungstür befand sich ein Projektionsschirm, der farbige Gläser trug. Das Licht des einen Raumes wirkte in geeigneter Intensität durch die Farbenschilder hindurch auf die Vp. in dem anderen Zimmer. Bei plötzlicher Verdunkelung des Beobachtungszimmers hellten sich die Farben bedeutend auf und zwar im Sinne des Purkinjeschen Phänomens. Das sofortige Auftreten dieser Erscheinung gab Hering Anlafs, den Begriff der „Momentadaptation" einzuführen. Er gibt aber keinen genauen Aufschluſs darüber, in welchem Zusammenhange dieser Begriff mit der Daueradaptation steht und welche Funktionsweise ihm zugrunde liegt. Hering sagt: „Man kann die plötzliche Stimmungsänderung, welche das ganze Sehorgan bei schneller Verfinsterung erfährt, ebenfalls als eine Art Adaptation für Dunkel bezeichnen. Diese Momentadaptation, wie ich sie nennen will, ist zu unterscheiden von der nach Auberts Vorgang gewöhnlich so genannten Adaptation für Dunkel, welche sich beim Aufenthalt in der Dämmerung oder im Finstern um so mehr entwickelt, je länger derselbe andauert. Die letzte Art der Adaptation will ich als Daueradaptation von der erstgenannten unterscheiden." Hier trennt Hering zwar dem Namen nach, faſst dann aber doch beide Erscheinungen unter dem einen Begriff der Adaptation wieder zusammen und scheint beiden darum wohl nur eine und dieselbe Funktionsweise zugrunde zu legen, nämlich die Funktionsweise des Antagonismus. Wenn man aber bedenkt, daſs die Regeneration des Sehpurpurs nach der Duplizitätstheorie eine äuſserst träge ist und die Funktionsweise der Stäbchen erst nach einigen Minuten, nach Piper (36) sogar erst nach 10 Minuten in sichtlichem Maſse ansteigt und erst nach 30 Minuten ein langsameres Ansteigen einsetzt, so dürfte die Deutung der Adaptationsweise, so wie sie bei Hering angedeutet scheint, ungenügend sein. Nach ihm könnte man vermuten, daſs beide Adaptationsweisen aus einer gemeinsamen Wurzel entsprängen und sich nur im Quantitativen unterscheiden würden. Auch Tschermak (48) verwendet den Begriff der Momentanadaptation ohne nähere Deutung.

Nagel schreibt über Herings Versuche (12): „War das Auge

vor dem Eintritt der Momentanadaptation gut hell adaptiert, so tritt durch sie niemals das Purkinjesche Phänomen ein, dieses ist vielmehr an das Vorhandensein eines wenn auch ganz mäfsigen Grades von Daueradaptation geknüpft, wie er schon in der Zimmeradaptation vorliegt. Irgendwelche Helligkeits- oder Farbengleichungen, die für das maximal hell adaptierte Auge gültig sind, werden durch das, was Hering Momentanadaptation nennt, d. h. durch plötzliche proportionale Verdunkelung beider Gleichungshälften, bzw. des gesamten Gesichtsfeldes, niemals ungültig." Nagel trennt hier also scharf zwischen Momentanadaptation und Daueradaptation und betrachtet das Purkinjesche Phänomen als integrierenden Bestandteil der Daueradaptation. Er sagt weiter an einer anderen Stelle: „Was indessen Hering mit Momentanadaptation gemeint haben kann, steht zu jenen Dingen (Purkinjesches Phänomen, Daueradaptation) in keiner, oder doch ganz entfernter Beziehung, so dafs die Verwendung dieses Ausdrucks nur verwirrend wirken kann. Wenn bei einem in mittlerem Adaptationszustand befindlichen Auge nach plötzlicher Verdunkelung sofort Purkinjesches Phänomen zu beobachten ist, so ist das, wie nochmals betont sein möge, die unmittelbare Folge der Verdunkelung und die unmittelbare Folge des Umstandes, dafs eine mäfsige Daueradaptation schon vorher bestand, nicht aber ein Zeichen dafür, dafs die momentane Verdunkelung schon einen wesensgleichen Prozefs im Auge herbeiführt, wie die länger dauernde Verdunkelung."

Katz (21) sagt: „Man mufs die Momentadaptation scharf von der Daueradaptation trennen. Ich würde es für erwünscht halten, beide Arten der Adaptation, weil sie durchaus andere Ursachen und im wesentlichen auch andere Wirkungen haben, auch durch die Namensbezeichnung schärfer zu unterscheiden. Es ist nicht anzunehmen, dafs mit einsetzender Dunkeladaptation die Wechselwirkung der Sehfeldelemente plötzlich erlischt (allerdings fehlt es an Untersuchungen über die Wechselwirkung der Sehfeldstellen im dunkeladaptierten Auge). Bei dem jetzt bestehenden Sprachgebrauch ist es also nicht zu umgehen, unter gewissen Umständen von Momentadaptationen zu reden, die sich derselben Daueradaptation überlagern."

Aufser diesen Hinweisen findet man noch, dafs hier und dort in der Literatur die Momentadaptation erwähnt wird, jedoch nur in ganz nebensächlicher Bedeutung. So gebrauchen Brug-

MANS und HEYMARS (5) sowie WIERSMA (49) die Momentadaptation in ihren Untersuchungen nur als Hilfsmittel, ohne auf das Wesen derselben irgendwie einzugehen. Auch bei LOHMANN (28) und SCHNEIDER (42) finden sich Berührungspunkte, die aber ebenfalls ohne Bedeutung sind.

Im übrigen findet sich über Momentadaptation nichts in der Literatur aufser 2 Arbeiten, die erst in letzter Zeit aus dem Institut von KATZ hervorgegangen sind. Die erste dieser Arbeiten, von NOLDT (34), untersucht hauptsächlich die quantitativen Verhältnisse der Momentadaptation und bedient sich nur reiner, farbloser Helligkeiten. In seinen Versuchen bietet NOLDT seinen Vp. zunächst einen hell adaptierenden A.-Reiz und dann plötzlich einen dunkleren B.-Reiz und bestimmt dann die Abhängigkeit der Erkennungszeit dieses letzteren Reizes von Intensität und Ausdehnung desselben. Diese Versuche werden dann noch, unter Abänderung der Konstellationen, wie Augenbewegungen, Reizbewegungen usw. erweitert. Die andere Arbeit, von REICHNER (39), untersucht die Momentadaptation an Hühnern und kommt zu dem scheinbar paradoxen Ergebnis: „Hühner zeigen eine schnellere Momentadaptation als Hühnerblinde — sind nicht hühnerblind.“ Wichtig ist, dafs die Momentadaptation des Huhnes eine Funktion der Zapfen sein mufs.

Wir glauben hiermit im wesentlichen alles angeführt zu haben, was bisher über Momentadaptation geschrieben und was seiner Begriffsbildung vorausgegangen ist. Wenn auch eine klare Definition bis jetzt immer noch nicht vorliegt, so dürfte über die Tatsache der Momentadaptation wohl doch keine Unklarheit mehr vorliegen. Es ist eben jene Erscheinung, die jeder Mensch wohl täglich erlebt, wenn in einem hell erleuchtetem Raume (im Hause, im Theater, im Lichtspielhaus usw.) die Beleuchtung plötzlich erlischt oder stark herabgesetzt wird. Nach einem vollständig dunklen Intervall tauchen dann fast plötzlich die Gegenstände des Sehraums wieder auf. Es ist dieses auch eine Erscheinung, die den Zauberkünstlern bei ihren Täuschungsmanövern zugute kommt und die vielleicht auch bei den okkulten Phänomenen eine täuschende Rolle spielt.

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. JAENSCH habe ich es mir zur Aufgabe gemacht, weitere Untersuchungen über die Momentadaptation in der Einstellung der hiesigen Arbeiten und vor allem in der Berücksichtigung verschiedener Arten von Vpn.

auszuführen. Hierzu diente mir eine Apparatur, deren Aufbau ich im folgenden Teile beschreiben werde.

§ 2
Der Aufbau der Versuchsanordnung

Bei den Versuchen dieser Arbeit handelte es sich im wesentlichen um die sukzessive Darbietung zweier Lichtreize in einem Dunkelzimmer. Der erste, sehr helle Lichtreiz, hatte den Zweck, das Auge der Vp. in seinem Gesamtumfange gleichmäfsig hell zu adaptieren, während der zweite bedeutend dunklere Reiz lediglich ein Erkennungsobjekt darstellte. Es wurden dann die Zeiten gemessen, die die verschiedenen Vpn. zur Erkennung dieses letzteren Reizes benötigten, wenn sie vorher durch den hellen Lichtreiz eine bestimmte Zeit lang hell adaptiert waren. Da diese Zeiten wegen der lokal verschiedenen Erregbarkeitsstimmung der Netzhaut durch Blickbewegungen beeinflufst werden konnten, war eine präzise Fixierpunktvorrichtung erforderlich. Der Aufbau der Apparatur besteht daher in der Hauptsache aus folgenden Teilen:

1. zwei Projektionsapparaten mit Reguliervorrichtungen,
2. einem Projektionsschirm,
3. einer Fixierpunktvorrichtung,
4. einer Apparatur zur Zeitmessung und
5. besonderen Kontrolleinrichtungen.

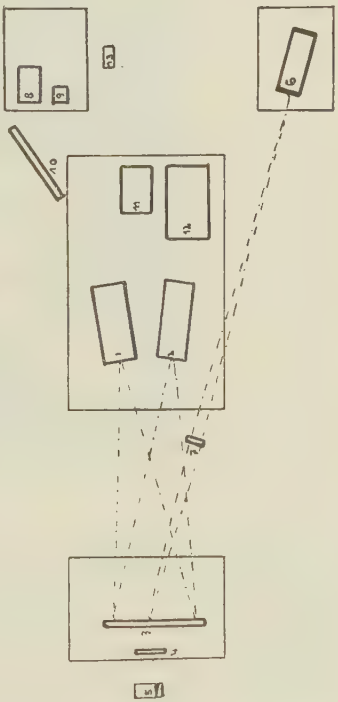
Die Aufstellung der Apparate läfst sich am besten aus der beigefügten Abbildung 1 ersehen.

1. Die beiden Projektionsapparate waren auf einem Tische dicht nebeneinander aufmontiert. Der Projektionsapparat für den hellen Reiz soll mit P_1, der andere mit P_2 bezeichnet werden. Entsprechend soll der Lichtreiz, den P_1 erzeugt, als A-Reiz und der von P_2 erzeugte als B-Reiz bezeichnet werden. P_1 enthält eine Nitraprojektionslampe von 300 Watt und P_2 eine gleiche Lampe von 100 Watt. Es wurde vermieden, eine kleinere Lampe von etwa 25 oder 50 Watt anzuwenden, weil die Lampen von dieser geringeren Intensität nicht als Projektionslampen hergestellt werden und sie daher leicht Interferenzerscheinungen auf der Reizfläche zulassen. Das Licht dieser Lampen war praktisch als rein weifs anzusehen. Beide Lampen hatten wir vor Inanspruchnahme für die Untersuchungen schon mindestens 30 Stunden brennen lassen, da neue Glühlampen anfangs an

Helligkeit nachlassen und erst nach etwa 30 Brennstunden eine konstante Lichtquelle, natürlich bei konstantem Strom, bilden (33). Die beiden Projektionslampen waren so gerichtet, daſs ihre Lichtkegel sich genau in der Ebene des Projektionsschirms schnitten (s. Abb. 1). Mit Hilfe kleiner Kontrollvorrichtungen, die unter 5. noch beschrieben werden, wurde die Beleuchtungsstärke von P_1 für alle Versuche konstant gehalten. Dagegen muſste die Hellig-

Abbildung 1

Skizze über die Aufstellung der Apparate
(Die dicken Linien deuten die Apparate, die dünnen Linien Tische und Stühle und die punktierten Linien die Projektionen an)



1. Projektionsapparat P_1 für den A-Reiz
2. Projektionsapparat P_2 für den B-Reiz
3. Projektionsschirm
4. Kopfstütze für die Vp.
5. Sitz der Vp.
6. Kamera für den Fixierpunkt
7. Konvexlinse für den Fixierpunkt.
8. Hippsches Chronoskop
9. Hipp-Lampe
10. Sekundenpendel
11. Schaltbrett
12. Kontrollvorrichtungen
13. Sitz des Versuchsleiters

keit des B Reizes variierbar sein. Hier standen nun verschiedene Methoden zur Verfügung. Zunächst konnte die Lichtquelle von P_2 selbst abgeschwächt werden durch Vorschalten von geeigneten Widerständen, sodann konnte die Abschwächung durch Veränderung des Abstandes von P_2 vom Projektionsschirm erreicht werden, indem P_2 auf einer Laufschiene montiert wurde, und schliefslich konnte auch die Abschwächung durch besondere Vorrichtungen von Absorbentien erreicht werden. Noldt (34) bediente sich in seinen Untersuchungen der erstgenannten Methode. Hiergegen bestanden aber grofse Bedenken, denn es ist eine be-

kannte Tatsache, dafs elektrische Glühbirnen, deren Helligkeit durch Vorschaltwiderstände stark abgestuft wird, zugleich mit ihrer Intensität auch ihre spektrale Zusammensetzung ändern. Diese Erscheinung ist in den Strahlungsgesetzen, insbesondere aber im WIENschen Verschiebungsgesetze mathematisch formuliert, ($T \cdot \lambda_{max} = \text{konst.}$). Durch dieses Verfahren könnten also wesentliche Fehler in solchen Versuchsreihen auftreten, die sich mit achromatischen B-Reizen zu befassen haben. Der Regulierung durch Veränderung des Abstandes von P_2 vom Projektionsschirm standen technische Schwierigkeiten im Wege, da dieses Verfahren einen sehr langen Dunkelraum benötigt. Aufserdem könnten durch die bei Entfernung zunehmende Diffussion des Lichtes und durch eventuell bei Bewegung von P_2 entstehende Kontaktlockerungen gröfsere Fehlerquellen eintreten. Von den sonst noch zur Verfügung stehenden Mitteln wie Absorbentien, Blenden, Polarisationsvorrichtungen und Episkotister kamen technisch nur Absorbentien und Episkotister in Frage. Da der Episkotister aber einen elektrischen Motor benötigt und die hierdurch entstehenden Geräusche als Störungsreize auf die Vp. wirken würden, mufste auch hiervon abgesehen werden. Von den Absorbentien kamen Rauchgläser und geschwärzte Flüssigkeiten wegen ihrer selektiven Wirkung nicht in Frage. Es wurde schliefslich eine bestimmte Art Milchgläser am geeignetsten gefunden, um eine gleichmäfsige, reine Abschwächung der weifsen Lichtquelle zu erzielen. Dafs gutes Milchglas von den verschiedenen für Lichtabschwächung in Betracht kommenden Glassorten die geringste selektive Wirkung ausübt, wurde auch schon von A. PFLÜGER (33) nachgewiesen. Aus den obenstehenden Erwägungen und aus langwierigen Vorversuchen heraus wurde schliefslich die folgende Reguliervorrichtung als am zweckmäfsigsten gefunden: Die Intensität der Lichtquelle von P_2 wurde in der Hauptsache durch Milchglas, welches in den Strahlengang geschoben wurde, auf die benötigten Helligkeiten herabgedrückt. Nur die feinen Endregulierungen wurden dann noch durch einen Präzisionsschiebewiderstand unter Zuhilfenahme eines mit in den Stromkreis geschalteten Amperemeters ausgeführt. Hierdurch wurden nach genauen photometrischen Messungen Helligkeiten, die nur $\frac{1}{300} - \frac{1}{16000}$ der Helligkeit des A-Reizes waren, gebildet. Die Messungen wurden unter Benutzung eines WEBERschen

Flächenphotometers ausgeführt. Um ein genaues Erkennen des B-Reizes zu begünstigen und um Fehlreaktionen, die durch besondere subjektive Empfindungen wie Nachbilder, Augennebel usw. ausgelöst werden könnten, von vornherein auszuschalten, wurde für sämtliche B-Reize eine markante Figur verwendet. Diese Figur wurde aus Zinnfolie scharf ausgeschnitten und zwischen zwei reine Spiegelglasplatten gelegt; sie wirkte so als Diapositiv (s. nachfolgende Abbildung).

Abbildung 2

Für die farbigen Versuche wurden Trockenfilter verwendet. Es waren dies die üblichen monochromatischen Lichtbilder aus gefärbter Gelatineschicht, die mit Canadabalsam an reines, weifses Glas gekittet wird. Diese Filter wurden von der Lichtfilterfabrik „Lifa"-Augsburg geliefert. Von Flüssigkeitsfiltern wurde Abstand genommen, da diese, zumal wenn sie aus organischen Farbstoffen bestehen, mit der Zeit chemischen Zersetzungen zugänglich werden, wogegen die Trockenfilter in dieser Beziehung lichtechter sind; die Lichtechtheit dieser Filter wurde durch eine indirekte Methode, auf die unten noch eingegangen wird, geprüft. Die Filter konnten, ähnlich wie Gelbfilter vor eine photographische Kameralinse, mit Spannhaltern leicht vorn vor die äufserste Linse des Projektionsapparates gesetzt werden; sie waren somit auch keiner zersetzenden Wärmeeinwirkung durch die Projektionslampe ausgesetzt. Zur Verwendung kamen zwei rote, ein grünes und ein

blaues Selektionsfilter. Die spektralen Öffnungen dieser Filter waren rot $\lambda > 630\,\mu\mu$, rot $\lambda > 600\,\mu\mu$, grün $\lambda = > 540—490\,\mu\mu$ und blau $\lambda = 485—430\,\mu\mu$. Die Absorptionsspektren dieser Filter wurden von der liefernden Fabrik wie folgt angegeben:

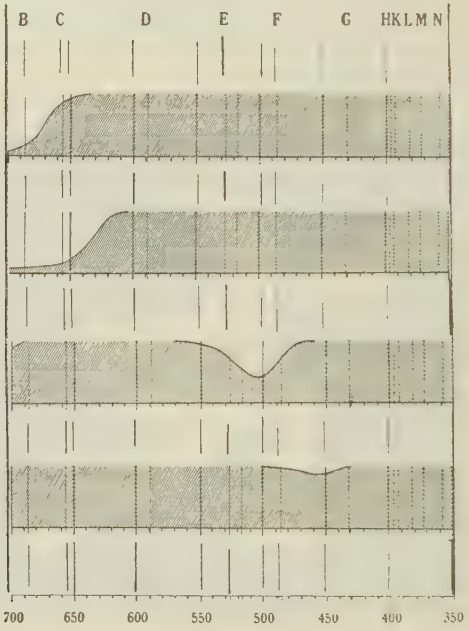


Abbildung 3

Die Helligkeitsverhältnisse dieser Lichtfilter wurden unter Benutzung eines Flimmerphotometers festgelegt. Im Tagessehen besafsen rot ($\lambda > 630\,\mu\mu$) und grün eine fast gleiche Helligkeit; die Durchlässigkeit von blau dagegen war geringer $\left(\frac{1}{3} — \frac{1}{4}\right)$ und die von rot ($\lambda > 660\,\mu\mu$) bedeutend gröfser (etwa 5—6 mal so grofs). Die Lichtechtheit der Filter wurde dadurch nachgeprüft, dafs einige am Anfang der Untersuchungen ausgeführte Versuchsreihen gegen Ende der Untersuchungen mit der gleichen Vp. wiederholt wurden. Da die Resultate, von zulässigen Fehlervariationen abgesehen, die gleichen waren wie zu Anfang, konnte dies als Nachweis der Lichtechtheit angesehen werden. Die beiden Projektionsapparate, besonders aber P_2, waren mit schwarzen Tüchern so eingehüllt, dafs aufser dem projizierenden

Lichte nicht das geringste diffuse Licht seitlich herausdringen konnte.

2. Der Projektionsschirm bestand aus einer in einem festen Rahmen gefafsten Opalglasscheibe von 75 cm im Quadrat. Diese Scheibe war vollkommen strukturlos und vermittelte ein reines, weifses Licht. Es soll hier aber darauf hingewiesen werden, dafs es nur wenige Glassorten gibt, die diese Eigenschaften besitzen, was durch Ausprobieren an den verschiedensten Glassorten festgestellt werden konnte. Die meisten Milchglasscheiben wirken zwar diffundierend, sind aber doch in gewissem Mafse durchsichtig, insbesondere für rote Strahlen. Durch viele Gläser sieht man sogar den Faden der Glühlampe, vor allem, wenn die Gläser matt geblasen sind. Die hier verwendete Scheibe wurde von einer Thüringer Glasfabrik eigens für unsere Zwecke angefertigt. Die Vp. safs hinter dieser Scheibe und empfing die Lichtreize in Durchprojektion. P_1 entwarf auf den Projektionsschirm einen hellen Kreis von 55 cm Durchmesser. Dadurch, dafs die Scheibe noch von einem kreisförmig ausgeschnittenen Rahmen von 55 cm Durchmesser bedeckt war, kam die Lichtprojektion von P_1 auf der Seite der Vp. als scharfbegrenzter, von Interferenzerscheinungen freier Kreis in Erscheinung. Dieser Lichtkreis hatte, vom Platze der Vp. aus gesehen, eine Beleuchtungsstärke von ca. 70 M. K. Der Kopf der Vp. ruhte an einer Kopfstütze, wodurch für die Augen ein konstanter Abstand von 27,5 cm vom Projektionsschirm festgelegt wurde; ebenso wurde damit ein konstanter Gesichtswinkel für den A-Reiz festgelegt, nämlich $= 2 \cdot \text{arc.tang} \frac{27{,}5}{27{,}5} = 90^0$. Der A-Reiz überdeckte somit fast das gesamte Gesichtsfeld. Die Mitte des Projektionsschirmes trug den Fixierpunkt, der noch im folgenden Abschnitt behandelt wird. Um etwaige, wenn auch minimale Wirkungen von diffusem Lichte auf die Scheibe gänzlich auszulöschen, war der Raum vor der Scheibe mit schwarzem Papier ausgekleidet.

3. Bei Einschaltung des A-Reizes diente ein einfacher schwarzer Punkt auf der Mitte des Projektionsschirmes als Fixierpunkt. Dieser war in genügendem Mafse geeignet, die Fixation auf sich zu lenken. Bei Auslöschen des A-Reizes aber war es erforderlich, die Blickrichtung genau festzuhalten. Hierzu mufste an derselben Stelle, wo vorher der schwarze Fixierpunkt auf hellem Grunde gewirkt hatte, jetzt ein heller Fixierpunkt

auf dunklem Grunde aufleuchten. Auf die Genauigkeit und Zweckmäfsigkeit dieses hellen Fixierpunktes mufste gröfster Wert gelegt werden. Einen Fleck von Leuchtfarbe zu verwenden, wie es schon häufig in ähnlichen Versuchen angewendet wurde, dürfte höchst unzweckmäfsig sein, da das Phosphoreszenzlicht, welches vorwiegend nur mittel- und kurzwellige Strahlen aussendet, wie ein lichtschwacher blaugrüner Punkt wirken würde und gerade dadurch entgegen der Absicht zu extrafovealer Betrachtung anregen müfste. Es mufste deshalb ein anderer, wenn auch umständlicherer, so doch sicherer Weg eingeschlagen werden. Hierzu diente ein alter Projektionsapparat, aus dem die gesamte Optik entfernt wurde. Als Projektionslampe wurde eine kleine Auto-Bosch-Lampe (12 Volt) mit eng zusammengezogenem Glühfaden genommen. Diese Lampe wurde aus der eigenen Akkumulatorenbatterie gespeist. Der Projektionskasten wurde zunächst vollständig gegen Licht abgedichtet. An der vorderen Seite wurde dann gerade der Lampe gegenüber mit einer glühenden Nadel ein kleines Loch in die Wandung des Kastens gebrannt. Durch dieses Loch fiel nun ein Lichtbündel in den Dunkelraum hinaus auf eine Konvexlinse von 60 mm Brennweite. Dieses war die einzige Linse, die zur Erzeugung des Fixierpunktes diente; sie war zwischen der Kamera und dem Projektionsschirm in solcher Entfernung und solcher Richtung angebracht, dafs sie ein scharfes Bild des Glühfadens genau auf den Mittelpunkt der Scheibe warf. Die Hilfsapparatur zur Erzeugung des Fixierpunktes war so aufgestellt, dafs sie nicht störend in die Lichtkegel von P_1 und P_2 eingreifen konnte (s. Skizze Nr. 1). Um ein sicheres Fixieren auf sich zu lenken, mufste der Fixierpunkt möglichst klein gewählt werden. Je gröfser man nun den Weg von der Kamera bis zum Fixierpunkt wählen kann, desto kleiner läfst sich dieser Fixierpunkt konstruieren. Da von Spiegelungen aus verschiedenen Gründen abgesehen werden mufste, stand nur eine maximale Entfernung von 3100 mm zur Verfügung. Die Einstellung der Linse und die Gröfse des Fixierpunktes liefs sich nun einfach nach der bekannten Reziprokengleichung berechnen. Allgemein gilt $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$. Dies ergibt, auf unseren speziellen Fall angewendet, wenn die Entfernung der Linse vom Fixierpunkt als unbekannt angesehen wird: $\frac{1}{3100 - x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{600}$ und hieraus

$x = 818{,}8$. Der Abstand der Linse betrug also vom Fixierpunkt aus = 818,8 mm und vom Loch der Kamera aus = 2281,2 mm. Das Loch der Kamera hatte nach genauer Messung einen Durchmesser von 0,5 mm. Da der Fixierpunkt ein Bild dieses Loches bildete und das Vergrößerungsverhältnis bei optischen Bildern = $\beta = \frac{b}{a}$ ist, in diesem Falle also = $\frac{818{,}8}{2281{,}2}$, so war die Größe des Fixierpunktes = 0,36 × 0,5 mm = 0,18 mm. Da nun die Augen der Vp. vom Fixierpunkt aus einen konstanten Abstand von 275 mm hatten, wurde der Fixierpunkt von den Vp., von einer geringen Strahlung abgesehen, unter einem konstanten Gesichtswinkel von arc. tang. $\frac{18}{2750}$ = 22,5 Minuten gesehen. Die Größe des zentralen Netzhautbezirkes erstreckt sich aber auf einen Gesichtswinkel von etwa 1—2 Grad (12, Bd. II, S. 308). Durch unseren Fixierpunkt wurde also nur ein kleiner Teil der fovea centralis gereizt. Bezüglich der Farbqualität des Fixierpunktes bestanden große Bedenken, einen weißen Punkt zu wählen, da ein solcher leicht zu extrafovealer Betrachtung Anlaß geben kann und hierdurch die konstante Blickrichtung gefährdet würde. Es wurde daher ein roter Fixierpunkt gewählt, der dadurch hergestellt wurde, daß das Lichtbündel des Glühfadens durch ein monochromatisches Rotfilter mit einer Filteröffnung von $\lambda > 590\ \mu\mu$ ging. Über die besondere Empfindlichkeit der Zapfen in der fovea centralis für gerade rotes Licht sagt W. Nagel (12, II, S. 326): „Wissen wir doch überhaupt nicht, warum die sogenannten ultraroten Strahlen die Netzhaut unseres Auges nicht erregen, während sie auf gewisse niedere Organismen deutlich erregend wirken, und wissen wir doch ebenso wenig, warum in dem fovealen Zapfenapparat gerade die Strahlen von der Wellenlänge $\lambda = 590-600\ \mu\mu$ die hellste Lichtempfindung auslösen, obwohl kein Absorbens in den Zapfen bekannt ist, daß gerade diese Strahlen besonders stark absorbierte, und obwohl das Energiemaximum spektraler Strahlungen nicht in diesen, sondern in den grünen Lichtern liegt." An einer anderen Stelle sagt ebenfalls Nagel: „Ein lichtschwacher Fixierpunkt muß, um wirklich die Fixation auf sich zu lenken, möglichst nur rote Strahlen aussenden. Im Zustand der Dunkeladaptation erscheinen alle nicht roten Lichter mit der fovea fixiert viel dunkler als extrafoveal, und nur die langwelligsten roten Strahlen bleiben

auch bei der Dunkeladaptation für die fovea wirksamer als für die Peripherie. Bei guter Helladaptation dagegen sinkt die Empfindlichkeit für alle Lichtarten von der fovea zur Peripherie; in diesem Zustand ist also die Qualität des Fixierpunktlichtes von geringerer Bedeutung, wenn auch ein roter Punkt immer am sichersten die Fixation auf sich zieht" (33, S. 18). Der hier gewählte Fixierpunkt war also in jeder Weise geeignet, ein Optimum der Fixation auf sich zu lenken. Durch einen noch besonders vorgeschalteten, kleineren Widerstand konnte die Helligkeit des Fixierpunktes so reguliert werden, dafs er, ohne zu blenden, während des gesamten dunklen Intervalles von der Vp. gut gesehen werden konnte.

4. Zur Messung der Zeit diente ein Hippsches Chronoskop, welches gestattete, die Zeit nach Tausendstel Sekunden abzulesen. Dieses Chronoskop war unter Vorschaltung einer besonderen Glühlampe parallel in dem Stromkreis der 220 Volt-Spannung eingebaut. Die Vorschaltlampe, die kurz mit Hipp Lampe (H.L.) bezeichnet werden soll, diente einem doppelten Zwecke. Zunächst war ihr Widerstand gerade geeignet, eine zum Betriebe der Uhr gut abgestimmte Stromstärke zu erzeugen, sodann diente die Lampe auch noch als Signallampe. Die Elektromagneten der Uhr waren nämlich so geschaltet, dafs die Zeiger der Uhr bei geschlossenem Strom stillstanden, bei geöffnetem Strom aber liefen. Sobald die Lampe also dunkel wurde, lief die Uhr. Durch eine besondere Anlage konnte unabhängig vom Vl. auch die Vp. durch einen Taster die Lampe zum Brennen und damit die Zeiger der Uhr wieder zum Stehen bringen. Dies geschah, wenn die Vp. beim Bemerken des B-Reizes durch Druck auf den Taster zu reagieren hatte. Fehlreaktionen wurden also durch ein zu frühes Aufflackern der Hipp-Lampe angezeigt. In solchen Fällen konnte die Zeit natürlich nicht gewertet werden. Die Hipp Lampe war so abgedichtet, dafs sie nur das Zifferblatt des Chronoskops und das Protokollbuch des Vls. beleuchten konnte. Das Nähere darüber, wie die Lampe in den Gesamtstromkreis eingebaut war und wie sie ein- und ausgeschaltet wurde, ersieht man am besten aus der nachfolgenden Schaltskizze und der Beschreibung eines allgemeinen Versuchsganges im folgenden Kapitel. Das Chronoskop war vor der Inanspruchnahme durch besondere Methoden auf die Richtigkeit seiner Zeitangaben genau geprüft worden.

5. Fast die gesamte Stromanlage der Apparatur wurde durch Anschluſs an die 220 Volt-Netzspannung des Städt. Elektrizitätswerkes gespeist. Ein Voltmeter, das beliebig ein- und ausgeschaltet werden konnte (s. Schaltskizze unter a) ermöglichte es, die Spannung auf Schwankungen hin beständig zu kontrollieren. Diese Fehlerquellen, die sich durch Stromverstärkung, bzw. Stromschwächung äuſserten, wurden durch entsprechende Widerstandsregulierungen und unter Zuhilfenahme von mit in den Stromkreis eingeschalteten Amperemetern vor und nach jedem Versuch soweit wie nötig ausgeglichen, bzw. nachkontrolliert (s. Skizze Nr. 2, b u. c). Bei jeder Art von Versuchen waren somit die benötigten konstanten Stromstärken und damit auch konstante Klemmenspannungen an den Polen der Projektionslampen gewährleistet. Das letztere resultiert aus der Tatsache der Konstanz des inneren Widerstandes einer normal brennenden Glühlampe und der einfachen Berechnungsformel der Klemmenspannung $V_k = J \cdot Wi$. Somit war nun die Stromstärke J = konst., die Klemmenspannung V_k = konst. und folglich auch die Leistung der Glühlampe (Watt = J · V) und damit auch ihre Helligkeit konstant. Die ständigen Kontrollen durch die Amperemeter waren auch ebenso geeignet, Fehlerquellen, die nicht durch Stromschwankungen, sondern durch andere Störungen wie Kontaktlockerungen usw. entstanden, sofort anzuzeigen.

Zur ständigen Kontrolle des Hippschen Chronoskops wurde ein Tonvariator benutzt, dessen Tonhöhe bei 1000 Schwingungen mit dem Ton des Uhrwerkes übereinstimmen muſste.

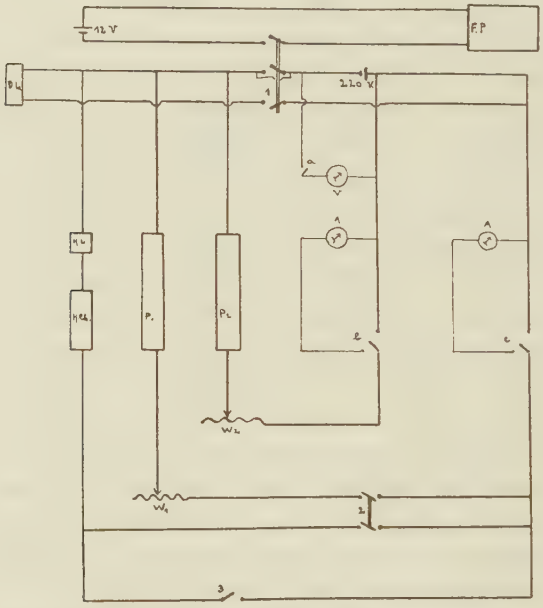
Zur Messung der Zeit, in der der A-Reiz dargeboten wurde, diente ein Sekundenpendel (s. Skizze Nr. 1).

Das Dunkelzimmer war durch schwarze Jalousien vollständig gegen das Tageslicht abgedichtet. Um eine absolute Dunkelheit zu erzielen, wurden noch sämtliche Tür- und Fensterritzen, sowie Schlüssellöcher usw. mit Kitt verdichtet. Diese letzten Abdichtungen wurden nach langem Aufenthalt im Dunkelzimmer, also unter bester Dunkeladaptation, ausgeführt. Wie schon erwähnt, waren auch P_2 und die Fixierpunktkamera mit schwarzen Tüchern vollständig gegen störendes Licht abgedichtet. Die Versuche konnten somit in einem idealen Dunkelzimmer ausgeführt werden.

Es lag in der Natur der Sache, daſs die hier beschriebene Apparatur in ihrem äuſseren Aufbau der Noldtschen Apparatur

ähnlich war. Es dürften aber wohl gerade in den wesentlichsten Punkten verbessernde Abänderungen eingeführt sein, so besonders in der Farbe des Fixierpunktes, in der Wahl des Projektionsschirmes, in der Art der Abschwächung der Lichtintensitäten und in der Regulierung der Spannungsdifferenzen.

Schaltskizze:



(Die dünnen Linien zeigen die Schaltungen der Kontrollvorrichtungen an)

Abbildung 4

§ 3

Über den allgemeinen Verlauf eines Versuches und die besonderen Konstellationen

Die Versuche wurden in den Tageszeiten von etwa 10 Uhr morgens bis 4 Uhr nachmittags durchgeführt, also in einer Zeit, in der die Tagesbeleuchtung kaum grofsen Schwankungen unterliegt. Die Vpn. waren fast sämtlich vor den Versuchen etwa $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde im Freien gewesen und befanden sich hinsichtlich der Ermüdung in einem mittleren Zustande. Um gleiche Verhältnisse herbeizuführen, liefsen wir vor Beginn der Versuche

die Vp. sich zunächst mindestens 20 Minuten in dem von einer 50-kerzigen Deckenlampe erleuchteten Raume aufhalten Die Deckenlampe hing genau über dem Projektionsschirm, so dafs von keiner Seite aus die Scheibe als heller Reiz hervortreten und sie so keinen Anlafs zu irgendwelchen Nachbildern geben konnte. Nach diesen Mafsnahmen konnte die Vp. als gleichmäfsig adaptiert angesehen und der Versuch begonnen werden.

Der allgemeine Verlauf eines Versuches, der jetzt beschrieben wird, läfst sich zweckmäfsig an Hand der Schaltskizze verfolgen. Auf den Zuruf „Achtung“ legte die Vp. ihren Kopf an die Kopfstütze und nahm den Taster des Schalters 3 in die Hand; dann wurde vom Vl. langsam und laut 1 — 2 — 3 gezählt. Während des Zählens legte die Vp. den Kopf an die Kopfstütze und nahm den Fixierpunkt auf. Bei 3 erlosch die Deckenlampe, und gleichzeitig setzte der A-Reiz mit dem B-Reiz und dem Fixierpunkt ein. Dieses bewirkte der Schalter 1. Nach der Skizze wurde er nach unten umgelegt, wodurch gleichzeitig der Strom für die Deckenlampe geöffnet und sämtliche anderen Stromkreise geschlossen wurden. In diesem Augenblicke waren von den anderen Schaltern 2 sowie b und c geschlossen und Schalter 3 und a geöffnet. Hierauf wurde nach der vierten Sekunde das Uhrwerk des Hippschen Chronoskops in Gang gesetzt. Dieses Geräusch war für die Vp. gleichzeitig ein Signal für das eine Sekunde später, nach der fünften Sekunde, erfolgende Verlöschen des A-Reizes. Letzteres wurde mit Schalter 2 bewirkt, der gleichzeitig auch die Hipp-Lampe zum Verlöschen und die Zeiger der Uhr zum Laufen brachte. Jetzt waren nur noch der B-Reiz und der Fixierpunkt eingeschaltet. Die Vp. sah zunächst nur den roten Fixierpunkt und reagierte dann beim Wahrnehmen des B-Reizes durch einen Druck auf den Taster 3, welcher den Stromkreis für den Hipp wieder schlofs und die Zeiger der Uhr zum Stehen brachte. Unter dem Schein der Hipp-Lampe konnte dann die Zeigerstellung abgelesen und die Deckenlampe wieder eingeschaltet werden. Nach einer Pause von mindestens 5 Minuten erfolgte dann der nächste Versuch.

Auf eine scheinbare Inkorrektheit in der oben auseinandergelegten Schaltungsweise mufs an dieser Stelle noch eingegangen werden. Mit der Einschaltung des A-Reizes war die Einschaltung des B-Reizes und des Fixierpunktes mechanisch verkoppelt. Es fragt sich nun, ob hierdurch eine Steigerung der A-Reiz-Helligkeit

bewirkt werden konnte, die nicht in der Absicht der Versuche lag. Schon bei Bouguer, Fechner und Volkmann (12) findet man Messungen hinsichtlich der Unterschiedsschwelle bei Lichtempfindungen. Diese Messungen wurden mit Schattenwirkungen ausgeführt. Bouguer fand eine Unterschiedsempfindlichkeit bei einem Reizzuwachs von $\frac{1}{64}$, Fechner und Volkmann dagegen schon bei $\frac{1}{100}$. Masson (12) fand mit Hilfe seiner Scheiben sogar eine Unterschiedsempfindlichkeit, bei guten Augen allerdings, von weniger als $\frac{1}{120}$. Unter noch günstigeren Bedingungen und bei bewegten Reizen wurde von Arago (12) sogar die Unterschiedsempfindlichkeit von $\frac{1}{131}$ festgestellt. Da die hier verwendeten B-Reize aber maximal nur $\frac{1}{250}$ der Helligkeit des A-Reizes erreichten, wurde durch das hier gewählte Verfahren keine Fehlerquelle hervorgerufen. Ebenso kam der rote Fixierpunkt bei der grofsen Helligkeit des A-Reizes nicht in Wirkung, so dafs die Vp. faktisch anfangs nur den schwarzen Fixierpunkt vor Augen hatte. Man hätte auch an ein Umschalten der Reize durch Relais denken können, doch dürfte dies wegen der Latenzzeiten der Elektromagneten viel eher geeignet sein, Fehler hervorzurufen.

Das Verlöschen des A-Reizes konnte objektiv als momentan angesehen werden. Noldt (34) hat experimentell die Verlöschzeit auf $^1/_{20}$ Sekunde ermittelt. Er liefs das Licht des A-Reizes in einem Brennpunkt vereinigt auf ein rotierendes Kymographion fallen, welches mit Bromsilberpapier überspannt war. Mit Hilfe eines gleichzeitig auf die rotierende Trommel schreibenden graphischen Chronometers konnte er dann aus dem erhaltenen Photogramm die oben angegebene Zeit bestimmen.

Die schon im vorigen Paragraphen erwähnten Kontrollen, die bei allen Versuchen ausgeführt wurden, wurden durch Umlegung des Schalters a für das Voltmeter und der Schalter b und c für die Amperemeter erreicht (s. Schaltskizze).

Die Zeiten, welche die einzelnen Vp. zur Erkennung der B-Reize benötigten und welche am Hippschen Chronoskop aus der Zeigerstellung zu ersehen waren, enthielten in sich eine Zeitsummation komplexer Vorgänge. Diese Zeit kann man sondern

in die eigentlich zu untersuchende Zeit, die der Adaptation entspricht, und die Reaktionszeit im engeren Sinne. Auch diese letztere ist an sich von sehr komplexer, teils physiologischer, teils psychologischer Natur. Da diese persönliche Reaktionskonstante ganz individuell verschieden ist und mit dem Vorgang der Adaptation in keinem unmittelbaren Zusammenhange steht, wurde Wert darauf gelegt, diesen Faktor zu eliminieren, um auf möglichst reine Versuchsergebnisse und deren Beziehungen zueinander zu gelangen. Bei sämtlichen Vp. wurde neben den Hauptversuchen die persönliche Reaktionskonstante im einzelnen festgestellt und stets von den auf dem Chronoskop angezeigten Zeiten in Abzug gebracht. Durch dieses Verfahren wurde auch gleichzeitig eine Unreinheit der Reaktionszeiten, die in der allerdings praktisch nur minimalen, nach wenigen Sigmen (eine Sigme = $^1/_{1000}$ Sekunde) zählenden Differenz der positiven und negativen Latenzzeit liegt, mit beseitigt. Die Messung der Reaktionskonstante wurde mit der gleichen Versuchsanordnung ausgeführt. Hierzu bedurfte es nur einiger kleiner Hilfsvorrichtungen, die noch besonders in die Hauptapparatur eingebaut waren. Die Vp. safs wie gewöhnlich vor dem Projektionsschirm, hatte den Fixierpunkt ins Auge gefafst und reagierte auf einen Lichtreiz, welcher ausgelöscht wurde und welcher etwa die Helligkeit eines mittleren B-Reizes hatte. Es handelte sich also hier um einen einfachen Reaktionsvorgang. Die Vp. wurde folgendermafsen instruiert: „Sobald der helle Kreis erlischt, schnell auf den Taster drücken!“ Es wurde somit keine der beiden bestehenden Reaktionsweisen, also weder die „sensorielle“ noch die „muskuläre“, sondern die „natürliche“ Einstellung gewählt. Der Vp. war es also hiermit ganz überlassen, ihrer besonderen Eigenart entsprechend, mehr sensoriell oder mehr muskulär zu reagieren. An einer Analyse dieses Vorganges selbst lag, dem Zweck der hier zu gebenden Untersuchungen entsprechend, kein weiteres Interesse vor. Es soll hier nur noch erwähnt werden, dafs von vielen Autoren die mittlere Reaktionszeit auf Lichtreize muskulär auf 180 Sigmen und sensoriell auf 290 Sigmen angegeben wird (47).

Alle Versuche wurden bei konstanter Zimmertemperatur von 18° durchgeführt. Hierdurch wurde vermieden, dafs bei zu geringer Temperatur Ablenkungen, bei zu hoher Temperatur aber Ermüdungserscheinungen eintreten konnten. Auch ist nach-

gewiesen worden, dafs die Lichtbleiche sowohl wie auch die Regeneration des Sehpurpurs von der Temperatur abhängig sind, (12, II, S. 48). Wenn auch von vornherein schon damit gerechnet werden durfte, dafs die Daueradaptation keine Wesensverwandtschaft mit der Momentadaptation aufweist, so mufste doch, um allen Reinheiten der Versuchsbedingungen gerecht zu werden, schon aus diesem Grunde eine konstante und mittlere Zimmertemperatur eingehalten werden.

Allen Versuchen wurden zur Einübung Vorversuche vorausgeschickt. Von Zeit zu Zeit wurden auch Fixierversuche ohne B-Reiz gegeben, um die Vp. zur Vorsicht anzuhalten.

Wenn irgendwelche Ermüdungserscheinungen oder sonstige Indispositionen der Vpn. zu bemerken waren, wurden die Versuche sofort eingestellt und zu einer anderen Zeit wieder aufgenommen.

§ 4

Über einige grundlegende Vorversuche

Bei den nachfolgend aufgeführten Versuchen standen uns 5 erwachsene Vpn. zur Verfügung. Die Messung der Reaktionskonstante ergab folgende Resultate:

Tabelle 1

(Die Zahlen geben die Zeiten in Sekunden an)

Sam.	Chu.	Kat.	Col.	Rei.
0,22	0,18	0,23	0,21	0,20
(0,003)	(0,013)	(0,008)	(0,009)	(0,023)

Diese Reaktionskonstanten wurden von den Hipp-Zeiten jedesmal entsprechend in Abzug gebracht, so dafs die folgenden Tabellen nur die reinen Zeiten der Momentadaptation angeben. Die eingeklammerten Zahlen geben hier wie auch bei den folgenden Tabellen die mittleren Fehlervariationen an. Man sieht, dafs diese in durchaus normalen Grenzen verlaufen. Die einzelnen Versuche wurden bei allen Einstellungen 5—10 mal wiederholt. Einheitlich war bei allen folgenden Versuchen die Form und Gröfse des B-Reizes, die aus der Abbildung auf S. 13 zu ersehen ist. Die Helligkeiten des B-Reizes waren $= \frac{1}{300}, \frac{1}{600}$

und $\frac{1}{1200}$ der Helligkeit des A-Reizes. Die folgende Tabelle gibt die Resultate auf diese Einstellungen an. Bei diesen Versuchen wurde der A-Reiz 5 Sekunden lang dargeboten und die Vp. angehalten den schwarzen, bzw. roten Fixierpunkt scharf ins Auge zu fassen.

Tabelle 2

V. P.	Helligkeit des B-Reizes $\frac{1}{300}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{1200}$
1. Sam.	0,58 (0,05)	1,15 (0,03)	2 17 (0,31)
2. Chu.	0,37 (0,05)	0,84 (0,15)	2,08 (0,04)
3. Kat.	0,27 (0,04)	1,36 (0,34)	1,94 (0,40)
4. Col.	0,29 (0,10)	1,00 (0,24)	1,79 (0,27)
5. Rei.	0,11 (0,05)	0,74 (0,22)	1,96 (0,23)
Mittelw.	0,32 (0,06)	1,02 (0,20)	1,99 (0,25)

Man sieht aus dieser Tabelle, dafs bei jeder Vp. ohne Ausnahme die Adaptationszeit grösser wird, wenn die B-Reizhelligkeit abnimmt. Die Tabellenwerte ergeben somit eine Bestätigung des zuerst von Noldt (34) aufgestellten Satzes, dafs mit zunehmender Schwächung des B-Reizes eine deutliche Zunahme der Adaptationszeit eintritt. Die Adaptationszeit ist demnach umgekehrt proportional der B-Reizhelligkeit. Dies gilt natürlich nicht im streng mathematischen Sinne, sondern in der gewöhnlichen, laxeren Bedeutung „proportional“. Da man sagen kann, dafs bei gleichen Konstellationen die Momentadaptation um so besser ist, je kürzer die Zeit, die zur Erkennung eines bestimmten Reizes benötigt wird, so kann man die reziproken Werte der Adaptationszeit als ein Mafs der Adaptationsfähigkeit ansehen. Die folgende Kurvendarstellung bringt die Mittel-

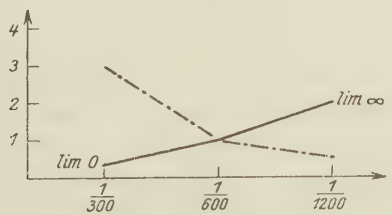


Abbildung 5.

werte der Tabelle 2 zum Ausdruck und gibt damit ein anschauliches Bild der Wechselwirkung von Adaptationszeit und B-Reizhelligkeit.

Die Ordinate enthält die Adaptationszeiten, und die Abszisse gibt die B Reizwerte, die mit einander durch den Quotienten $q = {}^1{}_2$ in Beziehung stehen, an. Die ausgezogene Kurve resultiert aus den mittleren Adaptationszeiten, während die gestrichelte Kurve ein Mafs für die Adaptationsfähigkeit angibt $\left(\text{Adaptationsfähigkeit} = \frac{1}{\text{Adaptationszeit}}\right)$. Die Hauptkurve stellt anschaulich den Verlauf des Vorgangs bei der Momentadaptation dar, wenn man unter Beibehaltung der Kurventendenz (des positiven Vorzeigens des 1. Differenzenquotienten) und unter beliebiger Fortführung der Abszissenwerte sich die Kurve beiderseits entsprechend verlängert denkt. Da die Ordinatenwerte naturgemäfs niemals negativ werden können, nähert sich die Kurve bei zunehmender Helligkeit des B-Reizes immer mehr und mehr der Abszissenachse, um schliefslich ganz mit ihr zusammenzufallen. D. h. also, dafs man bei zu geringen Helligkeitsdifferenzen zwischn A- und B-Reiz nicht mehr von Adaptation sprechen kann. Umgekehrt aber strebt die Kurve bei immer mehr abnehmender B-Reizhelligkeit zu Unendlichkeitswerten und gibt damit zum Ausdruck, dafs die Adaptation nur innerhalb eines gewissen Intervalles der B-Reizhelligkeit endliche Werte hat und somit faktisch nur innerhalb dieses Intervalles zur Geltung kommt.

Die bisherigen Versuche waren sämtlich mit Einhaltung des Fixierpunktes, also mit starrer Blickrichtung durchgeführt. Es lag nun die Frage nahe, welche Werte sich bei sonst gleichen Konstellationen mit bewegtem Blick ergeben würden. Zu diesen Versuchen wurde der B-Reiz genommen, der $\frac{1}{1200}$ der Helligkeit des A-Reizes war. Der A-Reiz wurde wie gewöhnlich 5 Sekunden lang dargeboten. Die Vp. fixierte während dieser Zeit wie gewöhnlich den schwarzen Fixierpunkt. Beim Verlöschen des A-Reizes hatte aber die Vp. nur den B-Reiz vor sich, während der rote Fixierpunkt ausgeschaltet war. Die Vp. wurde instruiert, den Blick jetzt innerhalb der Richtung des Projektionsschirmes wandern zu lassen. Die Tabelle 3 stellt die Werte bei starrem und die Werte bei bewegtem Blick gegenüber.

Tabelle 3

	Sam.	Chu.	Kat.	Col.	Rei.
bei starrem Blick	2,17 (0,31)	2,08 (0,04)	1,94 (0,40)	1,79 (0,27)	1,96 (0,23)
bei bewegtem Blick	1,83 (0,08)	1,67 (0,04)	1,61 (0,35)	1,59 (0,10)	1,30 (0,20)

Man sieht aus dieser Tabelle, dafs die Adaptationszeiten bei bewegtem Blick kürzer sind, als die Adaptationszeiten bei starrem Blick. Die Resultate weisen auf einen von Noldt (34) aufgestellten Satz hin, welcher lautet: „Oberhalb einer gewissen Grenze sind die Adaptationszeiten des bewegten Auges erheblich kürzer als die des ruhenden Auges.“ Diese obere Grenze verlief nach den Versuchen von Noldt bei etwa $\frac{1}{400}$ der Helligkeit des A-Reizes. Die geringeren Helligkeiten der B-Reize fallen also in das Gebiet, für welches der Satz Geltung hat. Da es sich bei unseren Versuchen um einen B-Reiz von $\frac{1}{1200}$ der Helligkeit des A-Reizes handelte, liegt in unseren Resultaten ebenfalls eine Bestätigung dieses Satzes vor.

Im Anschlufs an diese Untersuchungen wurden noch weitere Versuche unter Variation der Dauer des A-Reizes durchgeführt. Bei diesen Versuchen war der B-Reiz gleich $\frac{1}{1200}$. Es wurde mit bewegtem Blick beobachtet. In der einen Versuchsreihe wurde der A-Reiz 5 Sekunden und in der anderen 10 Sekunden lang dargeboten. Die Tabelle 4 stellt die entsprechenden Resultate zusammen.

Tabelle 4

	Chu.	Kat.	Col.	Rei.
A-Reizdauer = 5 Sek.	1,67	1,61	1,59	1,30
A-Reizdauer = 10 Sek.	2,26	2,03	1,92	1,35

Auch diese Ergebnisse harmonieren mit dem von Noldt (34) gefundenen Resultat: „Mit wachsender Dauer des A-Reizes ergibt

sich eine deutliche und ziemlich regelmäfsige Zunahme der Adaptationszeit."

Alle bisher ausgeführten Versuche hatten lediglich den Zweck, einer Vororientierung zu dienen. In der nachfolgenden Kurvendarstellung 2 sind nochmals die Ergebnisse aller Versuche zusammengestellt. Die obere Kurve stellt die mittleren Ergebnisse der 3 (männlichen) Vpn. Sam., Chu. und Kat. dar und die untere Kurve die Ergebnisse der 2 (weiblichen) Vpn. Col. und Rei.

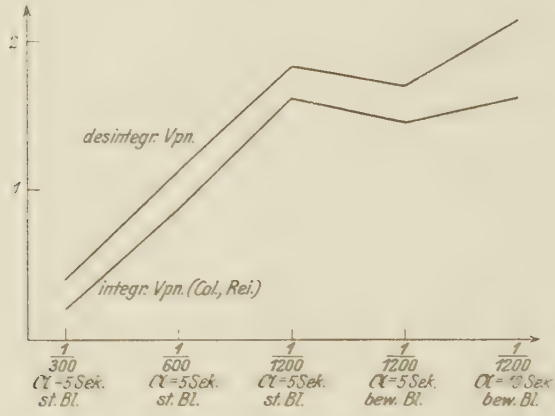


Abbildung 6

Zusammenfassend bestätigen beide Kurven in ihren einzelnen Phasen nochmals die Noldtschen Sätze, dafs nämlich:

1. sich mit zunehmender Schwächung des B-Reizes eine regelmäfsige Zunahme der Adaptationszeit ergibt,
2. oberhalb einer gewissen Grenze die Adaptationszeiten des bewegten Auges erheblich kürzer als die des ruhenden Auges sind, und
3. mit wachsender Dauer des A-Reizes sich ebenfalls eine Zunahme der Adaptationszeit ergibt.

Wenn die Versuche über Momentadaptation sich diesen äufseren Gesetzen zwar der Tendenz nach gänzlich einfügten, so waren doch in den Ergebnissen starke individuelle Unterschiede bei den einzelnen Vp. zu ersehen. In den vorstehenden Kurven weist die untere Kurve der weiblichen Vpn. in allen Phasen kürzere Adaptationszeiten und damit bessere Adaptationswerte nach als die obere Kurve der männlichen Vpn. Die weiblichen

Vpn. (Kol. und Rei.) konnten aber sowohl nach äufseren Merkmalen als auch auf Grund anderer Untersuchungen von Mitarbeitern des hiesigen Institutes als typische Vertreter des integrierten Menschentypus (B-Typus) angesehen werden.[1] Es waren Integrierte mit schon äufserlich erkennbaren Merkmalen (grofses Auge, lebhaftes Pupillenspiel). Obwohl Erwachsene, besafsen sie doch noch einen Teil ihrer eidetischen Jugendanlage, und zwar handelte es sich vor allem um eidetische Erscheinungen, die aus der Vorstellung heraus erzeugt werden. Dieses konnte von den 3 übrigen Vpn. weder nach äufserlichen Merkmalen noch nach vergleichenden Tests, die in anderen Untersuchungen des hiesigen Instituts durchgeführt waren, behauptet werden. Sie standen im Gegenteil diesem Typus fern. Die individuellen Unterschiede verliefen daher, wie die letzten Kurven anschaulich darlegen, parallel mit der besonderen psycho-physischen Eigenart der Vpn. Wenn das Versuchsmaterial auch noch viel zu dürftig war, um schon aus diesen wenigen Ergebnissen irgendwelche Rückschlüsse auf das Wesen der Momentadaptation und seiner Beziehung zur eidetischen Jugendphase herzuleiten, so mufsten doch schon diese Ergebnisse die Vermutung anregen, dafs zwischen den strukturpsychologischen Untersuchungen des hiesigen Institutes und dem Wesen und Verlauf der Momentadaptation irgendwelche innere Zusammenhänge bestehen könnten. Unter diesem Gesichtspunkte befassen sich daher die folgenden Untersuchungen an Hand umfangreichen Versuchsmaterials mit einer weiteren Analyse der Momentadaptation. Die Versuchskonstellationen wurden weitgehend variiert und insbesondere auf das Gebiet der farbigen Reize ausgedehnt.

§ 5

Versuche mit achromatischen B-Reizen

a) Unter gewöhnlichen Umständen (binokular mit Fixierpunkt)

Bei den in den folgenden Kapiteln behandelten Versuchen standen uns insgesamt 38 Vpn. zur Verfügung. Von diesen Vpn. waren 19 der Pubertät entwachsen und 19 noch in einem

[1] Es wird hier vom B-Typus nur noch dann gesprochen, wenn nicht nur die psychischen Integrationen vorhanden sind, sondern auch die körperlichen. Merkmale der ausgeprägten Integration vorliegen

jugendlichen Alter der Vorpubertät. Dem Geschlechte nach waren es 18 männliche und 20 weibliche Vpn. Die erwachsenen Vpn. waren teils Studierende der hiesigen Universität, teils aber berufstätige Nichtakademiker. Die Jugendlichen waren aus verschiedenen hiesigen Schulen ohne besondere Auswahl herausgenommen. Die nachfolgenden Tabellen enthalten eine übersichtliche Zusammenstellung sämtlicher Vpn. mit Angabe ihrer Reaktionskonstanten. Tabelle A enthält die erwachsenen und Tabelle B die jugendlichen Vpn.

Das Durchschnittsalter der erwachsenen Vpn. betrug 22 Jahre und 2 Monate und das der Jugendlichen 12 Jahre und 5 Monate. Die mittlere Reaktionskonstante betrug für die Erwachsenen 0,177 Sek. und für die Jugendlichen 0,229 Sek. Nach Geschlechtern spezifiziert war die Reaktionskonstante für die männlichen Erwachsenen 0,177 Sek., für die weiblichen Erwachsenen ebenfalls 0,177 Sek.; für die männlichen Jugendlichen war die Reaktionskonstante 0,232 Sek. und für die weiblichen Jugendlichen 0,228 Sek. In den Geschlechtern war also hinsichtlich der Reaktionskontanten nur ein ganz minimaler, in den Lebensaltern dagegen ein ziemlich erheblicher Unterschied zu verzeichnen, wodurch dieser Unterschied an Bedeutung gewinnt.

Bei den folgenden Versuchen mit achromatischen B-Reizen wurde der A-Reiz wie gewöhnlich 5 Sek. lang dargeboten. Die Blickrichtung der Vp. wurde durch den erst schwarzen und dann roten Fixierpunkt konstant gehalten. Sämtliche Vpn. hatten nun wie üblich beim Auftauchen bzw. Erkennen der Figur zu reagieren. Die nachfolgende Tabelle stellt alle diese Versuchsergebnisse zusammen, von denen jedes einzelne Ergebnis aus mehrfach wiederholten Versuchen resultiert. Die mittleren Variationen sind in dieser Tabelle nicht mehr im einzelnen angegeben, da sie ebenfalls wie bei den Versuchen in § 4 in normalen Grenzen (durchschnittlich kleiner als 10 %) verliefen. Beim Exponieren des B-Reizes wurden Helligkeiten, die $\frac{1}{200} - \frac{1}{1600}$ der Helligkeit des A-Reizes waren, verwendet. Die einzelnen Helligkeitsstufen bildeten eine fortschreitende geometrische Reihe mit dem Faktor $q = {}^1/_2$.

A. Erwachsene					B. Jugendliche				
Vp.	Alter: Jahr	Mon.	Geschlecht	Reaktionskonstanten in Sek.	Vp.	Alter: Jahr	Mon.	Geschlecht	Reaktionskonstanten in Sek.
1. Ahr.	20	10	männlich	0,15	1. Ans.	12	8	weiblich	0,26
2. Chu.	22	1	„	0,18	2. Bar.	12	6	„	0,18
3. Col.	20	3	weiblich	0,21	3. Brö.	12	1	männlich	0,27
4. Gut.	22	7	„	0,14	4. Erd. F.	12	0	„	0,25
5. Hes.	25	2	männlich	0,24	5. Erd. J.	13	0	weiblich	0,28
6. Höf.	25	0	„	0,20	6. Erd. L.	13	0	„	0,21
7. Kat.	20	9	„	0,23	7. Hec.	13	9	„	0,19
8. Kes.	22	7	„	0,17	8. Heu.	12	0	„	0,26
9. Kra	24	4	„	0,16	9. Lau.	12	4	„	0,17
10. Laa.	20	6	weiblich	0,17	10. Luc.	11	7	„	0,18
11. Lei.	27	11	männlich	0,14	11. Meu.	12	3	„	0,28
12. Lie.	23	9	„	0,13	12. Mic.	12	0	männlich	0,28
13. Mro.	19	5	„	0,17	13. Ort.	13	6	weiblich	0,22
14. Mül. M.	20	3	weibilch	0,21	14. Pfe.	11	3	„	0,26
15. Mül. O.	23	4	männlich	0,14	15. Run.	12	5	männlich	0,23
16. Rei.	20	4	weiblich	0,20	16. Schä.	11	6	weiblich	0,26
17. Ron.	22	3	„	0,15	17. Schm.	12	10	männlich	0,19
18. Sam.	20	9	männlich	0,22	18. Säl.	13	8	weiblich	0,22
19. Yil.	19	7	weiblich	0,16	19. Wie.	11	8	männlich	0,17
Mittelwert	22	2	—	0,177	Mittelwert	12	5	—	0,229

Tabelle der Adaptationszeiten bei achromatischen B-Reizen

A. Erwachsene

	Vp.	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000	1/8000	1/16000
a) weiblich	1. Gut.	1,02	1,34	2,02	6,01	7,77	42,69	> 60
	2. Laa.	1,37	2,68	3,81	8,81	16,22	44,82	> 60
	3. Mül. M.	1,14	1,61	3,09	4,79	7,44	25,72	> 60
	4. Yil.	0,63	0,86	1,04	6,29	10,81	24,29	> 60
b) männlich	5. Ahr.	—	1,50	2,26	4,25	6,83	21,08	> 60
	6. Hes.	1,25	1,92	2,43	5,68	10,09	26,72	> 60
	7. Kes.	—	1,57	3,52	4,51	21,70	59,88	> 60
	8. Kra.	—	1,69	1,88	4,02	6,54	23,35	57,24
	9. Mro.	—	1,18	1,88	2,66	3,36	21,35	37,16
	10. Mül. O.	—	1,39	3,65	6,68	18,48	42,13	> 60
	11. Sam.	0,67	0,91	1,63	4,38	5,37	12,47	54,05
	Mittelwert	1,01	1,51	2,47	5,28	10,42	31,32	> 57,13
	a)	1,04	1,62	2,49	6,48	10,56	34,38	> 60
	b)	0,96	1,45	2,46	4,60	10,34	29,57	> 55,49

B. Jugendliche

	Vp.	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000	1/8000	1/16000
a) weiblich	1. Aus.	1,41	1,83	3,37	4,59	7,23	20,01	38,15
	2. Bar.	1,49	1,63	2,29	3,36	6,50	20,27	30,42
	3. Erd. J.	—	1,90	2,73	4,15	4,51	17,70	41,09
	4. Erd. L.	—	1,21	1,85	2,94	4,06	13,25	34,55
	5. Hec.	—	1,52	2,10	2,93	4,45	11,49	15,43
	6. Lau.	—	1,91	3,00	3,71	4,02	16,13	36,48
	7. Luc.	—	1,92	2,21	3,55	3,95	6,74	20,18
	8. Ort.	—	2,57	2,89	2,96	3,63	10,11	21,80
	9. Pfe.	—	2,99	3,41	6,83	8,00	24,83	50,78
b) männlich	10. Brö.	1,22	1,42	1,92	3,17	6,32	21,15	43,00
	11. Erd. F.	2,14	2,65	3,07	8,74	10,01	18,20	53,15
	12. Mic.	0,70	1,04	3,43	5,14	8,08	13,29	19,53
	13. Rum.	1,25	2,26	2,99	4,21	5,62	17,84	53,79
	14. Sch.	1,35	2,87	6,61	9,52	14,77	28,69	39,20
	15. Wie.	1,92	2,66	3,07	4,97	8,58	14,12	20,22
	Mittelwert	1,44	2,03	3,00	4,72	6,65	16,92	34,52
	a)	1,45	1,94	2,65	3,89	5,15	15,61	32,10
	b)	1,43	2,15	3,52	5,96	8,90	18,88	38,15

In der 1. Spalte fehlt ein Teil der Versuchsergebnisse, da die B-Reiz-Helligkeit $\frac{1}{250}$ erst später zu der Versuchsreihe hinzugenommen wurde, und uns dann die entsprechenden Vpn. nicht mehr zur Verfügung standen.

Da das Hirschsche Chronoskop bei einmaligem Aufziehen nur Zeiten bis 60 Sek. anzeigte und bei B = $\frac{1}{16000}$ einige Adaptationszeiten über die Ablaufszeit der Uhr hinausgingen, wurden diese Zeiten an der entsprechenden Stelle mit >60 bezeichnet.

Die 1. Tabelle enthält die Resultate der Erwachsenen und die 2. Tabelle die Resultate der Jugendlichen, und zwar werden in jeder Tabelle zuerst die weiblichen und dann die männlichen Vpn. aufgeführt. Am Schlufs jeder Tabelle sieht man die Mittelwerte der Erwachsenen einerseits und die der Jugendlichen andererseits. Unter den Mittelwertsreihen sind dann nochmals diese Mittelwerte nach Geschlechtern getrennt auseinandergehalten. Diese letzteren Werte werden durch die nachfolgende Kurvendarstellung I anschaulich zum Ausdruck gebracht. In dieser Darstellung enthält die Abszisse die B-Reizwerte und die Ordinate die zugehörigen Adaptationszeiten in Sekunden. Die Werte für den B-Reiz $\frac{1}{16000}$ konnten in dieser Darstellung nicht mit berücksichtigt werden, weil sie zu grofs ausfielen; sie sind aber aus den Tabellen leicht zu ersehen.

Jede der 4 Kurven gibt nun wieder eine Bestätigung des Satzes, dafs mit zunehmender Schwächung des B-Reizes sich eine regelmäfsige, zuerst langsame, dann schnellere Zunahme der Adaptationszeit ergibt. Bei genauerem Betrachten sieht man, dafs diese 4 Kurven sich in ihrem typischen Verlauf zwanglos auf 2 Hauptkurven zurückführen lassen. So weisen die weibliche und die männliche Kurve der Erwachsenen in ihrem Verlauf eine gleiche Tendenz nach und zeigen selbst in ihren absoluten Werten nur minimale Differenzen an. Das gleiche gilt für die männliche und die weibliche Kurve der Jugendlichen. Diese geringen Differenzen zwischen weiblicher und männlicher Kurve erklären sich leicht aus den zulässigen Fehlergrenzen und aus der zufälligen Wahl der Vpn. Wesentlich ist aber der starke Unterschied der Kurven, die von den Gesamtmittelwerten der Erwachsenen einerseits und der Jugendlichen andererseits gebildet werden. Hier wird, von den unwesentlichen Unterschieden des Geschlechtes abgesehen und nur der Unterschied der Lebensalter

Abbildung 7

zugrunde gelegt. Die Vpn. werden damit in solche der Vorpubertät und solche der Nachpubertät geordnet. Zwecks besserer Übersicht soll an dieser Stelle noch eine Kurvendarstellung gegeben werden, die nur die Gesamtmittelwerte der Erwachsenen und die der Jugendlichen zum Ausdruck bringt. Um die Werte der B-Reiz-Helligkeit $\frac{1}{16000}$ mit verwerten zu können und aus Raumersparnis wurde nun in diesem Falle statt der einfachen Darstellung die logarithmische Darstellung $^{10}\log T = f(R)$ gewählt. Diese Darstellungsweise hat aufserdem den Vorzug, dafs aus ihr neben den absoluten Zeitwerten auch die Zeitverhältnisse leicht ersehen werden können; denn der Eigenart der logarithmischen Kurve entsprechend gehören zu gleichen Differenzen der Ordinate auch immer gleiche Verhältnisse

der Ordinate und zwar entsprechen positiven Ordinatendifferenzen direkt proportionale Verhältnisse und negativen Ordinatendifferenzen reziproke Verhältnisse. Da hier die Briggschen Logarithmen zugrunde liegen, entspricht z. B. einer absoluten Ordinatendifferenz von 0,30103 die Verhältniszahl 2 bzw. $^1/_2$.

Die gestrichelte Kurve ist vorläufig aufser acht zu lassen, da sie am Ende dieses Paragraphen noch besonders behandelt wird.

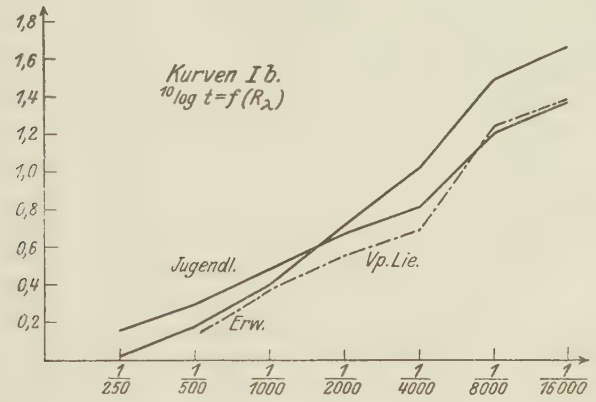


Abbildung 8

Aus dieser Darstellung ergeben sich für die Jugendlichen bei den drei ersten B-Reiz-Helligkeiten $\left(\frac{1}{250}, \frac{1}{500}, \frac{1}{1000}\right)$ ausschliefslich längere Adaptationszeiten als bei den Erwachsenen. Nach einem darauf erfolgenden Kurvenschnitt sind dann diese Adaptationszeiten ausschliefslich kleiner als die entsprechenden Adaptationszeiten der Erwachsenen. Typisch an dem Verlauf der Kurven ist:

1. der höhere Ansatzpunkt bei den Jugendlichen,
2. der Schnitt der Kurven und
3. der tiefere Endverlauf der Kurve der Jugendlichen.

Allgemein kann man von einem flacheren Verlauf der Jugendlichenkurve sprechen. Das Verhältnis der Adaptationszeiten der Jugendlichen zu den entsprechenden Zeiten der Erwachsenen wurde besonders errechnet und in der folgenden Sondertabelle zusammengestellt.

	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{8000}$	$\frac{1}{16000}$
Ewachsene	1,01	1,51	2,47	5,28	10,42	31,32	>57,13
Jugendliche	1,44	2,03	3,00	4,72	6,65	16,92	34,52
$\frac{t\ (Jugendliche)}{t\ (Erwachsene)} =$	1,43	1,34	1,21	0,89	0,64	0,54	—

Die beiden oberen Querspalten stellen nochmals die Gesamtmittelwerte der Erwachsenen und die der Jugendlichen gegenüber, während in der unteren Querspalte die zugehörigen Quotienten zu ersehen sind, die das Verhältnis der Adaptationszeiten angeben. Die Adaptation der Jugendlichen ist also anfangs schlechter als die der Erwachsenen, da sie längere Zeiten benötigt; sie nähert sich dann aber bei abnehmender B-Reiz-Helligkeit einem Punkt $\left(\text{zwischen } \frac{1}{1000} \text{ und } \frac{1}{2000}\right)$, wo sie gleich der der Erwachsenen ist und wird von diesem Punkte ab zunehmend besser als die der Erwachsenen. Obwohl es sich hier nur um isolierte Punkte handelt, wird doch die Tatsache einleuchtend sein, da jedes $q_n + 1 < q_n$, dafs bei stetiger Abnahme der B-Reiz-Helligkeit auch der Verlängerungsfaktor q stetig abnimmt.

Es wurde in später noch anzuführenden Sonderversuchen nachgewiesen, dafs die Adaptation bei den kurzen Zeiten sehr wesentlich von der vorausgegangenen A-Reiz-Helligkeit beeinflufst wird und dafs dieser Einflufs sich in abklingendem Mafse geltend macht, je länger die Adaptationszeiten genommen werden. Bei den längeren Adaptationszeiten dürfte sich dagegen schon mehr und mehr das reine Dämmerungssehen, welches nicht mehr oder zum mindesten aber sehr wenig von der vorausgegangenen Hellerregung abhängig ist, durchsetzen. Bei diesen längeren Adaptationszeiten, in unseren Versuchen etwa nach 10—20 Sekunden, kann man schon von Daueradaptation sprechen. Diese Daueradaptation war nach unseren Ergebnissen schon nach etwa 20 bis 30 Sekunden bei den Jugendlichen doppelt so gut wie bei den Erwachsenen.[1] Bei weiterem Abnehmen der B-Reiz-Werte bzw. bei noch längeren Zeiten werden diese Adaptationsverhältnisse keine Umkehrung erfahren, sondern es ist im Gegenteil

[1] d. h. sie erfordert bei gleichen Reizen die halbe Anpassungszeit, oder auch bei gleicher Zeit vermochten sie schon die Reize von halb so grofser Helligkeit wahrzunehmen.

aus der Tendenz der Kurven und der Quotiententabelle anzunehmen, dafs diese Verhältnisse für die Jugendlichen noch besser werden, so dafs bei noch längeren Zeiten die Jugendlichen eine Adaptation erreichen werden, die vielleicht 3—4 mal so gut wie die der Erwachsenen sein wird. Die Daueradaptation und das mit ihr verknüpfte Dämmerungssehen ist also, wie hier experimentell erwiesen wurde, eine der eidetischen Jugendphase nahestehende Sehfunktion bzw. Sehschicht. Dieses Dämmerungssehen ist als ein im Verhältnis zum Tagessehen primitiveres Sehen zu betrachten. Dies äufsert sich vor allem in einem Mangel an Farbensehen, in einer schlechten Formenerkenntnis und in einem mangelhaften Tiefensehen. Hesse (16) unterscheidet hiermit übereinstimmend eine Reihe mehr oder minder entwickelter Funktionen des Gesichtssinnes und zwar fortschreitend von der primitivsten Sehform ausgehend die Empfindung.

1. der diffusen Helligkeit,
2. der Richtung,
3. der Bewegung eines Gegenstandes,
4. der Entfernung eines Objektes und
5. der Form und der Konturen eines Dinges.

Es ist eine in den lebenswissenschaftlichen Disziplinen sich immer mehr und mehr durchsetzende Auffassung, dafs die Analyse hochentwickelter Funktionen durch die Aufdeckung der Entwicklungsfrühformen in ganz besonderem Mafse gefördert wird. In unserem Falle sind es nun die hochentwickelte Sehform des Tagessehens und die primitive, dem eidetischen Jugendtypus besonders naheliegende Sehform des Dämmerungssehens, die sich als 2 Extreme gegenüberstehen. Diese beiden Sehschichten sind aber nach E. R. Jaensch durch eine stetige (wahrscheinlich mit der Pubertät zusammenhängende) Entwicklung verbunden und zwar so, dafs die Entwicklung der höheren Funktionen aus denen der niederen in der Weise erfolgt, dafs die niederen Sehschichten nicht einfach gänzlich ausgeschaltet werden, sondern von den höheren so überbaut werden, dafs sie in geeigneten Umständen wieder in Funktion treten können. Ähnliche Entwicklungen, die ebenfalls mit der Aufspaltung der eidetischen Jugendanlage parallel gehen, konnte E. R. Jaensch auch im Gebiete rein psychischer Vorgänge nachweisen, so z. B. in einem stufenförmigen Aufbau des Gedächtnisses (Nachbild-Anschauungsbild-Vorstellung).

Wenden wir uns nun den Anfangswerten der behandelten Kurven zu. Wie aus dem Schnitt der Kurven zu ersehen ist, sind hier die Adaptationsverhältnisse ganz anderer Natur. Bevor in eine Erklärung dieser Verhältnisse eingegangen wird, soll ein Hilfsversuch demonstriert werden, der für die nachfolgenden Erklärungen eine experimentelle Grundlage bilden und ihr Verständnis erleichtern soll. Bei einer gut beobachtenden Vp. (Sam) wurde die in diesem Paragraphen behandelte Versuchsreihe so wiederholt, dafs bei Beibehaltung aller sonstigen Konstellationen nur die A-Reiz-Helligkeit von 70 auf 200 M.K. erhöht wurde. Die nachfolgende Tabelle stellt die Werte beider Versuchsreihen zusammen. In der unteren Tabelle sieht man die der betreffenden B-Reiz-Helligkeit entsprechenden Zeitverhältnisse, die in einem Quotienten dargelegt werden, der das Verhältnis der neuen Adaptationszeit (bei L = 200 M.K.) zu der alten Adaptationszeit (bei A = 70 M.K.) angibt.

	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{8000}$	$\frac{1}{16000}$
A = 70 M. K.	0,67	0,91	1,63	4,38	5,37	12,47	54,05
A = 200 M. K.	3,35	4,43	5,03	8,21	12,08	17,96	49,17
Q =	5,00	4,87	3,09	1,87	2,25	1,44	0,91

Die nachfolgende Kurvendarstellung II veranschaulicht diese Ergebnisse. Hier wurde ebenfalls aus den schon oben dargelegten Gründen die logarithmische Darstellungsweise $^{lo}\log t = f(R)$ gewählt.

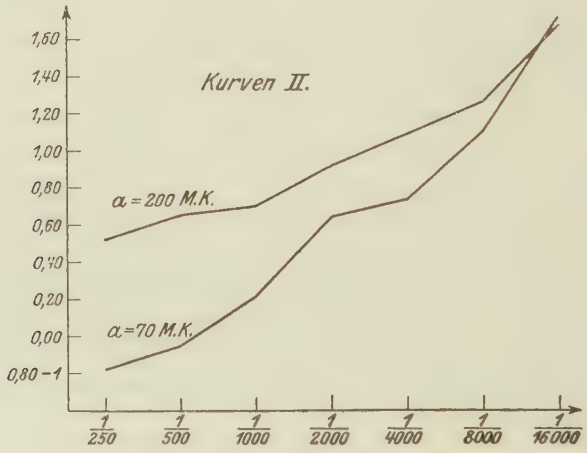


Abbildung 9

Man sieht aus dieser Darstellung, wie stark der Einfluſs der A-Reiz-Helligkeitsvermehrung gerade auf die kurzen Adaptationszeiten ist, während dieser Einfluſs sich bei zunehmenden Adaptationszeiten immer mehr und mehr verliert. Daſs dieses gesetzmäſsig verläuft, geht aus dem fast stetigen Abnehmen des Quotienten Q, der schliesslich praktisch $= 1$ wird, hervor. Anschaulich findet diese Tatsache ihren Ausdruck darin, daſs die beiden Kurven sich einander immer mehr und mehr nähern, um schliefslich ganz zusammenzufallen.

Wenn bei der letzten B-Reiz-Helligkeit $\frac{1}{16000}$ der Ordinatenpunkt der neuen Kurve sogar noch tiefer liegt als der entsprechende Punkt der alten Kurve, und wenn die sonst regelmäſsige Abnahme des Quotienten Q bei der Stelle $\frac{1}{2000}$ eine kleine Unterbrechung erfährt, so dürfte dies, zumal es sich um ganz minimale Differenzen handelt, aus den zulässigen Fehlerquellen zu erklären sein; dies ist noch um so eher zu verstehen, als die Durchführung beider Versuchsreihen einige Wochen auseinander lag.

Aus dem oben Dargelegten läſst sich nun ein Gesetz formulieren, welches besagt, daſs eine Vermehrung der A-Reiz-Helligkeit innerhalb eines gewissen Zeitintervalles eine Verlängerung der ursprünglichen Adaptationszeiten bewirkt, und daſs diese Einwirkung um so stärker ist, je kürzer die Adaptationszeiten, bzw. je heller die verwendeten B-Reiz-Helligkeiten sind. Ferner läſst sich feststellen, daſs jenseits dieses genannten Zeitintervalles kein solcher Einfluſs mehr zu beobachten ist. Da man nun den ursprünglichen A-Reiz von 70 M. K. ebenfalls als einen Reizzuwachs zu einem B-Reiz von 0 M. K. (was praktisch einem Dunkelraum, bzw. einem Reizausfall gleichkommt) ansehen kann, lassen sich die oben aufgestellten Sätze noch allgemeiner fassen, indem man sagen kann, daſs die Adaptation innerhalb eines gewissen Zeitintervalles wesentlich beeinflufst wird von der Art der vorausgegangenen Helladaptation, u. zw. ist dieser Einfluſs um so stärker, je kürzer die Adaptationszeit, bzw. je heller die B-Reiz-Helligkeit ist. Je heller der vorausgehende A-Reiz ist, um so mehr werden die Adaptationszeiten verlängert. Ferner läſst sich ausdrücken, daſs von dem erwähnten Zeitintervall ab keine

Beeinflussung durch den vorausgegangenen A-Reiz mehr stattfindet.

Alle diese Ergebnisse lassen sich nun ganz einleuchtend daraus erklären, dafs die vorausgegangene Hellerergung nach dem objektiven Verlöschen des A-Reizes noch eine bestimmte Zeit des gänzlichen Abklingens bedarf. Die gesamten Vorgänge der Dunkeladaption lassen sich hiernach in 2 Klassen teilen, nämlich in solche, die wesentlich von dem Abklingen der vorausgegangenen Hellerregung abhängig sind, und solche, die hiervon fast unabhängig vor sich gehen. Im ersten Falle sind die entsprechenden Sehprozesse mehr allonomer, im letzten Falle dagegen mehr autonomer Natur. Der erstere Fall tritt praktisch bei geringen Helligkeitsdifferenzen zwischen A- und B-Reiz bzw. also bei kurzen Adaptationszeiten ein, während der letztere Fall bei grofsen Helligkeitsdifferenzen, bzw. also bei langen Adaptationszeiten in Betracht kommt. Dem ersteren Fall entspricht der Begriff der Momentadaptation und dem letzteren Fall der Begriff der Daueradaptation.

Abbildung 10

Somit dürfte der Begriff der Momentadaptation, der von E. Hering zwar eingeführt wurde, aber doch von ihm ungeklärt blieb, und der von mehreren anderen Autoren daraufhin ebenfalls ungeklärt erörtert wurde, hier seine klare Definition erhalten haben. Die Momentadaptation ist eben ein im Tagessehen wurzelnder Prozefs, während die Daueradaptation eine im Dämmerungssehen wurzelnde Funktion darstellt. In der Jaensch-schen Terminologie der Sehschichten ist also die Momentadaptation eine Teilfunktion der höher entwickelten, und die Daueradaptation eine Teilfunktion der primordialen Sehschichten. Dafs die Funktionen der Momentadaptation und der Daueradaptation sich in einem bestimmten Zeitintervall durchdringen, u. zw. erstere in abklingendem und letztere in steigendem Mafse, ist ebenfalls eine Folgerung aus unseren hier dargelegten Versuchsergebnissen und

den oben ausgeführten Erörterungen. Dieses Ineinandergreifen der Sehschichten läfst sich anschaulich an dem Schema (Abb. 10) erläutern. Zeitlich genommen verläuft das Schema von links nach rechts. Die unausgefüllte Fläche stellt die Tätigkeit der höheren Sehschicht (Tagessehen) und die ausgefüllte, schwarze Fläche die Tätigkeit der primordialen Sehschicht (Dämmerungssehen) dar.

Alle diese Erscheinungen sind ebenso wie aus der Theorie der Sehschichten auch aus der von G. E. Müller vertretenen Theorie der rhodogenetischen Hemmung zu erklären. Nach dieser Theorie, die eine Abänderung der Duplizitätstheorie darstellt, wird durch die Zapfentätigkeit eine Hemmung auf die Tätigkeit der Stäbchen ausgeübt. Diese Theorie erklärt einleuchtend die Einzelheiten des Dämmerungssehens und des peripheren Sehens, sie steht ferner in gutem Einklang mit der Jaenschschen Theorie der Sehschichten und harmoniert auch vollständig mit den Ergebnissen dieser hier vorliegenden Arbeit; sie erklärt diese Ergebnisse ebenso wie wir und zwar folgendermafsen: Solange der A-Reiz wirkt, findet eine maximale Tätigkeit der Zapfen statt; die Tätigkeit der Stäbchen ist dabei vollständig gehemmt. Bei Verlöschen des A-Reizes setzt das Abklingen der Hellerregung ein; die Hemmung, die die Zapfentätigkeit ausübt, verliert nach und nach an Stärke und gibt einer ansteigenden Tätigkeit der Stäbchen Raum. Nach einem bestimmten Zeitintervall verliert die Zapfenfunktion ganz ihre hemmende Einwirkung und läfst dann eine maximale Auswirkung der Stäbchenfunktion zu. — Auch dieser Erklärung kann das obenstehende Schema zugrunde gelegt werden; die Erklärung ist somit die gleiche wie die unsrige, wenn nur statt Zapfen- und Stäbchenfunktion die Termini „höhere und primordiale Sehschicht" gebraucht werden.

Bemerkt soll noch werden, dafs die hier behandelten Sehschichten nach der Theorie von E. R. Jaensch die beiden extremen Stufen einer ganzen Hierarchie von Sehschichten darstellen, von denen jede höhere Schicht die unter ihr liegende (funktionell) überbaut. Des weiteren konnte ebenfalls in einer Arbeit des hiesigen Institutes (46) schon nachgewiesen werden, dafs die Einschaltung primordialer Funktionsweisen bei funktionellem oder organischem Abbau höherer Schichten erfolgt. Auch diese nachgewiesenen Zusammenhänge stehen in bestem Einklange mit der Theorie der rhodogenetischen Hemmung und unseren hier dar-

gelegten Erklärungen; sie lassen sich ebenfalls anschaulich auf das oben bezeichnete Schema beziehen.

Auch Katz, der schon in der Einleitung zitiert wurde, äufserte über das Wesen der Momentadaptation Vermutungen, die ganz durch unsere Ergebnisse gerechtfertigt wurden (21). Er forderte eine strengere Scheidung von Moment- und Daueradaptation, da beide verschiedene Ursachen und verschiedene Wirkungen haben. Er vermutete ebenfalls schon, dafs mit einsetzender Dunkeladaptation die Wechselwirkung der Sehfeldelemente nicht plötzlich erlösche, und dafs sich die Momentadaptation unter gewissen Umständen der Daueradaptation überlagere. Dieses sind alles Vermutungen, die hier von uns durch das Experiment als Tatsache erwiesen wurden und die ebenfalls durch das oben gezeichnete Schema veranschaulicht werden.

Das Nachklingen von optischen Erregungen wurde in der eidetischen Forschungsmethode und insbesondere in den Arbeiten des hiesigen Institutes an den mannigfachen Erscheinungen der subjektiven optischen Anschauungsbilder und der gesteigerten Nachbilder experimentell erwiesen. So zeigten diese Anschauungsbilder, bzw. die Nachbilder, in der eidetischen Jugendphase eine ganz besondere Intensität und Dauer. Bei allen Nachbilderscheinungen handelt es sich nun um Teilerregungen der Netzhaut, während bei unseren Versuchen durch den A-Reiz die gesamte Netzhaut erregt wurde. Wenn nun bei den Eidetikern, bzw. bei den Jugendlichen, das Abklingen von Teilerregungen der Netzhaut, wie bei den Nachbilderscheinungen erwiesen wurde, ein bedeutend trägeres ist, als bei den Erwachsenen, so darf diese Tatsache auch wohl auf den Fall erweitert werden, wenn eine Erregung der gesamten Netzhaut vorliegt. Diese Verhältnisse sind nun aber für die Momentadaptation der Jugendlichen bzw. der nachbildnahen Eidetiker von hemmendem Einflufs, da ja die Momentadaptation, wie erwiesen wurde, von dem mehr oder minder schnellen Abklingen der vorausgegangenen Hellerregung abhängig ist.

Im Anschlufs an diese Erklärungen lassen sich nun auch die Anfangswerte der oben gegebenen Kurvendarstellungen I und II verstehen. Diese Kurvenwerte liegen bei den Jugendlichen höher als bei den Erwachsenen, d. h. die Momentadaptation ist bei den Jugendlichen schlechter als bei den Erwachsenen. In dem Mafse, wie nun die vorausgegangene Hellerregung abklingt, setzt sich

die primordiale Sehschicht des Dämmerungssehens immer mehr und mehr durch. Das Aufsteigen dieser primordialen Sehschichten ist aber bei den Jugendlichen labiler als bei den Erwachsenen, bei denen sich dagegen eine gröfsere Latenz dieser Sehschichten bemerkbar macht, wie aus den Endpunkten unserer Kurvendarstellung hervorgeht. Diese gröfsere Labilität der primordialen Sehschichten bei den Jugendlichen findet seinen Ausdruck in dem gegenseitigen Annähern der beiden Kurven, in dem darauf erfolgenden Schnitt derselben und der weiteren Tatsache, dafs von diesem Kurvenschnitt ab alle Adaptationszeiten der Jugendlichen zunehmend kleiner werden als die der Erwachsenen. Die eidetische Jugendanlage ist also bei den Adaptationsvorgängen für die kurzen Zeiten der Momentadaptation von hemmendem Einflufs, während die gesamte Persönlichkeitsstruktur für die gesamten Adaptationsvorgänge, insbesondere aber für die Vorgänge bei der Daueradaptation wegen des stärkeren Bereitliegens der primordialen Schichten von förderndem Einflufs ist.

Auch der zu Anfang dieses Paragraphen aufgeführte Unterschied in den Reaktionskonstanten dürfte zu den hier behandelten Dingen in näherer Beziehung stehen. Während es sich bei den zuletzt behandelten Prozessen um ein Abklingen der gesamten Hellerregung handelte, handelt es sich bei den Versuchen zur Ermittlung der Reaktionskonstante um das plötzliche Verlöschen der maximalen Hellerregung. Ebenso wie nun ein trägeres Abklingen des gesamten Erregungsprozesses bei den Jugendlichen gegenüber dem der Erwachsenen nachgewiesen werden konnte, kann auch wohl ein längeres Persistieren des A-Reizes nach dessen objektivem Verlöschen bei den Jugendlichen angenommen werden. Hierdurch läfst sich dann zwanglos die höhere Reaktionskonstante der Jugendlichen erklären.

Durch unsere Untersuchungen dürften somit die gesamten Adaptationsvorgänge, insbesondere aber ihre einzelnen, ineinander greifenden Teilvorgänge klarer hervorgetreten sein.

An einer vorausgegangenen Stelle hatten wir schon dargelegt, dafs die Adaptationszeiten innerhalb der Momentadaptation abhängig sind von der Stärke der vorausgegangenen Hellerregung und von der Helligkeit eines sonst in Form, Gröfse, Farbe usw. konstant gehaltenen B Reizes. Zu diesen objektiv bedingten Faktoren tritt nun aber noch der subjektiv bedingte Faktor der

Persönlichkeitsstruktur hinzu, so daſs jetzt, kurz formuliert, T-Moment = f (A, B, Persönlichkeitsstruktur) ist.

Übereinstimmend mit Nagel und Katz müssen auch wir, besonders im Anschluſs an unsere Untersuchungsergebnisse, die Bezeichnung „Momentadaptation" als unglücklich gewählt betrachten. Zunächst ist die Gemeinsamkeit des Ausdrucks „Adaptation" irreführend, weil bei der Momentadaptation sich wesentlich andere Prozesse abspielen, als bei der Daueradaptation, sodann ist ebenfalls das Bestimmungswort „Moment" irreführend, weil sich die Momentadaptation praktisch auf ein Zeitintervall von mehreren Sekunden erstreckt und ihre letzten, wenn auch minimalen Einwirkungen sich vielleicht noch auf Minuten ausdehnen. Um aber nicht miſsverstanden zu werden, muſsten wir vorläufig diese Begriffsbezeichnung noch beibehalten. Die Abänderung dieser Bezeichnung, die mehrfach empfohlen wurde, müſste natürlich konventionell durchgeführt werden.

Wenn im allgemeinen bei unseren Versuchen die Adaptationszeiten kürzer sind als bei den entsprechenden Versuchen von Noldt, was sich besonders bei den längeren Adaptationszeiten bemerkbar macht, so dürfte dieser Unterschied in der verschiedenen Methode der Lichtabschwächung zu erklären sein. Noldt schwächte die B-Reizhelligkeiten nur durch Widerstandsregulierungen, wodurch aber die anfangs rein weiſsen B Reize zunehmend an Rotgehalt gewinnen muſsten, wie des näheren schon in § 2 ausgeführt wurde. Wir konnten nun aber im folgenden Paragraphen nachweisen, daſs zur Erkennung roter B-Reize nicht die Adaptationszeiten benötigt werden, die der Helligkeit dieses Reizes entsprechen, sondern höhere Adaptationszeiten. Da bei den Versuchen des hier vorliegenden Paragraphen jedoch nur rein weiſse Helligkeiten verwendet wurden, ist somit der Unterschied in den Zeitergebnissen erklärlich.

Die eidetischen Vpn. (Col. und Rei.), die in den Versuchen des § 4 angeführt waren, standen uns, da sie inzwischen von hier verzogen waren, bei den Versuchen des hier vorliegenden Paragraphs leider nicht mehr zur Verfügung. Unter den neuen Vpn. befand sich aber ebenfalls ein integrierter Erwachsener mit eidetischer Anlage. Die Versuchsergebnisse dieser Vp. sollen hier gesondert aufgeführt und besonders erörtert werden.

Vp	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{8000}$	$\frac{1}{16000}$
Lie.	1,36	2,38	3,59	5,00	17,15	32,46

Aus diesen Ergebnissen resultiert die in der Kurvendarstellung II gestrichelt gezeichnete Sonderkurve. Übereinstimmend mit den Ergebnissen der Vpn. Col. und Rei. zeigt auch diese Kurve in allen Phasen sehr gute Adaptationswerte. Die eidetische Anlage der Vp. Lie. ist nicht mehr so ausgeprägt wie die der Jugendlichen und äufsert sich auch nur noch unter besonderen Umständen, insofern sie starke Selektionserscheinungen zeigt. Dr. Lie., der mehrfach bei den Arbeiten des hiesigen Institutes als Vp. diente und selbst psychologisch gebildet ist, äufserte sich über seine eidetische Anlage folgendermafsen: „Meine eidetischen Bilder zeigen sehr starken Vorstellungscharakter und entstehen meist aus lebhaften Vorstellungen heraus. Subjektive Anschauungsbilder nach Vorlage zu erzeugen, gelingt zwar auch, fällt aber verhältnismäfsig schwer. Dafs die Vorlage interessant sein mufs, ist aber eine notwendige Vorbedingung." Wir sehen hieraus, dafs die Vp. Lie. ebenfalls wie die Vpn. Col. und Rei. dem Typus der integrierten Persönlichkeit angehört. Allen 3 Vpn. war die allgemein gute Dunkeladaptation eigen. Dafs die Adaptation auch schon von Anfang an, im Zeitintervall der Momentadaptation, im Verhältnis zu den Jugendlichen besser war, erklärt sich daraus, dafs bei diesen 3 erwachsenen Vpn. die nachbildnahe, in unmittelbarem Anschlufs an die vorausgegangene Erregung nachklingende eidetische Anlage nicht mehr vorhanden war und dafs diese somit nicht mehr die allgemeinen Adaptationsvorgänge anfangs störend überlagern konnte.

Betrachten wir nun zusammenfassend die allgemeinen Ergebnisse dieses Paragraphen. Wenn wir zunächst von den nachbildnahen Phänomenen absehen, die bei den Jugendlichen in unmittelbarem Anschlufs an den A-Reiz die Adaptationsvorgänge anfangs besonders stark überlagern, so finden wir auf der einen Seite eine im allgemeinen sehr gute Dunkeladaptation bei den Jugendlichen und bei den integrierten Erwachsenen, auf der anderen Seite aber eine im Verhältnis hierzu schlechte Dunkeladaptation bei den übrigen Erwachsenen. Verschiedene typologische Arbeiten haben ergeben, dafs der Typus der Integration im Jugendalter bedeutend stärker verbreitet ist als unter Erwachsenen, die im allgemeinen mehr dem desintegrierten Typus nahestehen. Dies geht auch schon aus äufseren Merkmalen hervor. So zeigen z. B. die Jugendlichen ebenso wie die Integrierten Erwachsenen ein lebhaftes Pupillenspiel und

grofse, glänzende Augen. Es ist hier gleichsam, als ob das innere Seelenleben hinaus auf die Dinge der Wahrnehmungswelt getragen würde und umgekehrt die Reize der Aufsenwelt ein Mitschwimmen des inneren Seelenlebens hervorriefen. Der oben gegebenen Einteilung der Adaptation in eine gute und eine schlechte gehen somit Persönlichkeitsstrukturen parallel und zwar entsprechend der guten Dunkeladaptation der integrierte Konstitutionstypus und der schlechten Dunkeladaptation der mehr desintegrierte Konstitutionstypus. Des weiteren wurde in verschiedenen typologischen Arbeiten der Nachweis erbracht, dafs dem integrierten Konstitutionstypus überhaupt ein besonders hohes Mafs von „Plastizität" oder Beeinflufsbarkeit und ebenso auch in besonders starker Ausprägung gewisse Anpassungserscheinungen, die ja ebenfalls einen Sonderfall der „Plastizität" oder Beeinflufsbarkeit sind, zukommen. Dieser Nachweis wurde in verschiedenen Tests wie Müller-Lyersche Täuschung, Farbenkonstanz der Sehdinge, Transformationserscheinungen, Verhalten der Sehgröfsen, Pupillenreaktionen usw. geführt. Da auch die hier besprochenen Adaptationserscheinungen ebenfalls ein Ausdruck der Plastizität des psychophysischen Organismus sind, reihen unsere Ergebnisse sich ganz jenen Befunden ein.

Die Adaptationsvorgänge sind folgendermafsen als Anpassungsvorgänge zu verstehen. Allen Menschen ist sowohl die höhere Sehschicht des Tagessehens als auch die primordiale Sehschicht des Dämmerungssehens eigen. Beim gewöhnlichen Sehen, dem Tagessehen, wirken die höheren Sehschichten dynamisch, während die primordialen Sehschichten sich in potentieller Ruhe befinden. Wenn nun das Auge plötzlich vor Aufgaben gestellt wird, die nur unter Einschaltung dieser primordialen Sehschichten gelöst werden können, wie z. B. das Erkennen der Dinge im Dunkeln, wird der typische Organismus hierbei im Vorteil sein, bei dem am leichtesten und schnellsten diese Sehschichten aus ihrer Latenz zur manifesten Funktionsweise gebracht werden können. Dieses ist identisch mit dem schon an früherer Stelle bei dem Schema auf S. 41 als mit „stärkerem Ansteigen der primordialen Sehschichten" bezeichneten. Der in den letzten Erörterungen als vorteilhaft bezeichnete Typus ist eben nach unseren Ergebnissen der integrierte Konstitutionstypus, der im Jugendalter vorwiegend und im späteren Alter nur in besonderen Fällen vorkommt. Auch hier offenbart sich

zugleich die in diesem Typus besonders stark vorliegende Labilität der psychischen Funktionen. Letztere ist dagegen beim desintegrierten Erwachsenen stabiler und erhärteter und erschwert hier den Übergang vom gewöhnlich eingeschalteten Tagessehen zum accidentell bedingten Dämmerungssehen.

Von der integrierten Konstitutionsanlage ist die zu nachbildnahen Prozessen neigende Anlage zu trennen. In der Eidetik wird dies dadurch zum Ausdruck gebracht, dafs bei den eidetischen Phänomenen „nachbildnahe" und „vorstellungsnahe" unterschieden werden; die letzteren sind für die integrierte Konstitution charakteristisch, aber auch die nachbildnahen Prozesse sind im Jugendalter im allgemeinen gesteigert und haben hier einen Höhepunkt. Diese gesteigerten nachbildnahen Prozesse waren im Anfangsteil unserer Kurvendarstellung 1a und 1b von stark hemmendem Einflufs auf die Adaptationsvorgänge. Hieraus erklärt sich nun, dafs innerhalb der integrierten Klasse von unseren Vpn. die Adaptation der Jugendlichen erst von einem gewissen Zeitpunkt ab (etwa nach 5—10 Sek.) der guten Adaptation der integrierten Erwachsenen gleichkommt. Zusammenfassend läfst sich jetzt folgendes Schema geben:

Integrierter Konstitutionstypus — gute } Dunkel-
Desintegrierter „ — schlechte } adaptation
Starke nachbildn. Sehprozesse — schlechte Momentadaptation, welche sich der Daueradaptation in einem kleinen Anfangszeitintervall in abklingendem Masse überlagert.

Bei den Arbeiten über Daueradaptation wurden, der Eigenart der Versuchsmethode entsprechend, andere Darstellungsweisen der kurvenmäfsigen Ergebnisse gewählt, als in der hier vorliegenden Arbeit, die neben der Daueradaptation sich in der Hauptsache auch mit der Momentadaptation zu befassen hatte. Die gebräuchlichen Kurven der Daueradaptation geben einer Zunahme der Empfindlichkeit Ausdruck, indem auf der Abszisse die Adaptationszeiten eingetragen werden und die Ordinate als Mafs der Empfindlichkeit die entsprechenden reziproken Reizwerte selbst (nach Piper, 36) oder deren Logarithmus (nach Best, 3) enthält. Um unsere Versuche mit denen der reinen Daueradaptation besser vergleichen zu können, wurden unsere Versuchsergebnisse auf eine der oben angeführten Darstellungsweisen (nach Best) umgerechnet und in der folgenden Kurvenzeichnung zum Ausdruck gebracht.

Man sieht, dafs hier der Anstiegstypus der Empfindlichkeit der gleiche ist, wie bei der reinen Daueradaptation. Die Empfindlichkeit steigt erst sehr starkund dann relativ immer langsamer. Auch in dieser Darstellung sieht man anschaulich, wie die Empfindlichkeit bei den Jugendlichen anfangs durch das Nachklingen der Tagesfunktion stark gehemmt wird, und wie dann aber mit der mehr einsetzenden Daueradaptation diese Empfindlichkeit relativ zu den Erwachsenen immer mehr und mehr begünstigt wird.

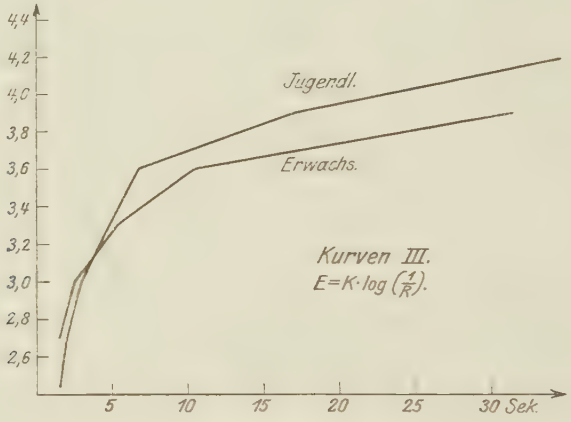


Abbildung 11

b) Variiert (bewegter Blick, monokulare Beobachtung, Einschaltung einer Blende, Verlängerung der A-Reiz-Dauer)

Die in diesem Abschnitt geschilderten Versuche wurden im allgemeinen ebenso durchgeführt wie die im 1. Teile dieses Paragraphen. Es wurden nur kleine Variationen, die in einer besonderen Verhaltungsweise der Vpn. lagen, hinzugefügt. So hatte im ersten Falle die Vp. nach Verlöschen des A-Reizes in beliebiger und ungezwungener Blickrichtung, d. h. mit bewegtem Blick, zu beobachten. Der rote Fixierpunkt war dabei ausgeschaltet. Sodann wurden Versuche mit monokularer Beobachtung ausgeführt, wobei der Fixierpunkt wieder eingehalten wurde. Ferner wurden Versuche unter Einschaltung einer vor die Pupille gesetzten Blende ausgeführt. Hierbei wurde ebenfalls monokular und mit Einhaltung eines Fixierpunktes beobachtet. Schliefslich wurden noch einige Versuche unter Verlängerung der A-Reiz-Dauer auf 10 Sek. vorgenommen. Diese Variationen wurden an 3 B-Reiz

Helligkeiten, nämlich $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1000}$ und $\frac{1}{2000}$ durchgeführt. Die nachfolgenden Tabellen enthalten die entsprechenden Ergebnisse. In der ersten Längsspalte jeder Tabelle sind zu Vergleichszwecken nochmals die Adaptationszeiten der gewöhnlichen Verhaltungsweise aufgeführt. Am Schlufs jeder Tabelle sind die errechneten Mittelwerte zu sehen. Im Anschlufs an diese Tabellen sollen dann die einzelnen Variationen und deren Ergebnisse einer kurzen Erörterung unterzogen werden.

B-Reiz $= \frac{1}{500}$:

Vp.	gew.	bew.	monok.	Blende	A = 10 Sek.
Erd.	2,80	1,91	2,86	2,70	2,60
Hes.	2,19	1,53	2,77	3,70	1,59
Kra.	1,69	1,32	2,49	4,06	—
Lau.	1,59	1,18	3,16	4,71	1,08
Lie.	1,36	0,73	1,43	2,19	—
Mittelwert	1,93	1,33	2,54	3,47	—

B-Reiz $= \frac{1}{1000}$:

Vp.	gew.	monok.	Blende
Hes.	2,43	2,74	6,80
Sam.	1,63	2,37	5,36
Mittelwert	2,03	2,55	6,08

B-Reiz $= \frac{1}{2000}$:

Vp.	gew.	bew.	monok.	Blende
Mro.	3,08	1,74	5,87	26,02
Sam.	4,45	2,16	5,52	27,22
Mittelwert	3,77	1,95	5,70	26,62

Bei den Versuchen mit bewegtem Blick wurden ausnahmslos kleinere Adaptationszeiten gefunden als bei den entsprechenden

Versuchen mit fixiertem Blick, wie im einzelnen aus der Tabelle für $B = \frac{1}{500}$ und $B = \frac{1}{1000}$ zu ersehen ist. Zur Erklärung soll folgendes gesagt werden: Bei bewegten, in Gebrauch befindlichen Organen tritt eine bessere Durchblutung und bessere Ernährungszufuhr ein, als bei nicht bewegten bzw. nicht gebrauchten Organen. Hierdurch wird einer Ermüdung dieses Organes vorgebeugt und letzteres selbst erfährt sogar bei genügender Wiederholung und Übung dieser Prozesse eine Kräftigung und Ausbildung (Aktivitätshypertrophie, 40). Auch Hering (15) gibt ähnliche Nachweise über eine Erholung der Netzhaut. Ferner ist das Bewegungssehen der natürliche Zustand des Auges, und es ist schon von vornherein plausibel, dafs sich die Anpassung vor allem bei dieser natürlichen Art des Sehens einstellen wird.

Bei den Versuchen mit monokularer Beobachtung fanden wir ebenso wie Noldt (34) eine Verlängerung der Adaptationszeiten gegenüber der binokularen Beobachtung. Diese Ergebnisse harmonieren mit der von Piper (37) gefundenen Tatsache der binokularen Reizsummation. Piper spricht diese Tatsache aber nur der vorgeschrittenen Dunkeladaptation zu und verneint sie dagegen bei der Helladaptation. Die binokulare Reizsummation ist damit also speziell dem Dämmerungssehen und nach unserer Terminologie den primordialen Sehschichten eigen. Von der monokularen Beobachtung ausgegangen wurden die Adaptationszeiten durch die entsprechende binokulare Beobachtung nach unseren Ergebnissen bei $B = \frac{1}{500}$ und $B = \frac{1}{1000}$ auf das 0,80 fache und bei $B = \frac{1}{2000}$ sogar auf das 0,66 fache verkürzt. Gleiche Verhältnisse kann man auch aus den Tabellenwerten bei Noldt ersehen. Da wir nun bei abnehmender B-Reiz-Helligkeit eine relativ stärker werdende Reizsummation zu verzeichnen haben, andererseits die Adaptationsvorgänge in diesem Falle immer mehr dem reinen Dämmerungssehen zustreben, bestätigen unsere Versuchsergebnisse hiermit die oben dargelegte Piper'sche Ansicht und bekräftigen nochmals unsere Auffassung von dem allmählichen Ansteigen der primordialen Sehschichten bei den Adaptationsvorgängen. Zugleich dürfte hiermit die Frage nach der binokularen Reizsummation ebenfalls in das genetisch zu erforschende Gebiet der Sehschichten gerückt werden und die Tat-

sache der binokularen Reizsummation selbst und vor allem ihr Ausfall im Tagessehen in folgender, teleologisch zu erklärender Funktionsweise des Auges liegen. Im Dunkelsehen ist die binokulare Reizsummation dem Auffassungsakt dienlich, im Tagessehen und vor allem bei zu grofsen Helligkeiten ist sie dagegen störend, weshalb sie hier ganz ausfällt. Im Tagessehen tritt vielmehr die neue, durch die Tatsache des binokularen Sehens und der mit ihr verbundenen Parallaxe besonders geförderte Funktion des Tiefensehens ein. Es ist vielleicht wohl anzunehmen, dafs diese in den höheren Sehschichten liegende Funktion im Laufe der Entwicklung die in den primordialen Sehschichten liegende Funktion der Reizsummation zurückgedrängt hat.

In den gesamten Adaptationsvorgängen ist enthalten die Adaptation im engeren Sinne und die Pupillenreaktion. Bei der Adaptation im engeren Sinne sollen die Tatsache der Regeneration des Sehpurpurs sowohl wie auch die gesamte Duplizitätstheorie durchaus nicht durch die Theorie der Sehschichten ausgeschlossen werden, sondern diese sollen, wie schon an früherer Stelle betont wurde, in einem gröfseren Rahmen beibehalten werden, wobei diese Funktionen nicht mehr isoliert, sondern als Glieder umfassenderer Funktionssysteme erscheinen. Unsere Versuche mit Pupillenblende wurden ebenfalls monokular ausgeführt, so dafs die dieser Konstellation entsprechenden Adaptationszeiten mit den Adaptationszeiten der monokularen Beobachtung zu vergleichen sind. Vor das nicht verdunkelte Auge wurde mit Hilfe einer umgeänderten Autobrille eine Blende gesetzt, deren Öffnung etwa der kleinen Pupillenweite bei Helladaptation entsprach. Bei einsetzender Verdunkelung wurde nun durch diese Blende der Faktor des einsetzenden Pupillenspiels fast ganz ausgeschaltet. Diesen Faktor rein auszuschalten, dürfte technisch unmöglich sein, da dann die Blende unmittelbar auf der Pupille liegen müfste und durch den dadurch entstehenden Druck störende endogene Sehprozesse hervorgerufen werden könnten. Wir mufsten uns somit mit Annäherungswerten begnügen. Die Verlängerungen der Adaptationszeiten, die durch die Pupillenblende hervorgerufen wurden, waren folgende:

$$\text{bei B} = \frac{1}{500} = \frac{3{,}47}{2{,}54} = 1{,}37,$$

$$\text{bei B} = \frac{1}{1000} = \frac{6{,}08}{2{,}55} = 2{,}38,$$

$$\text{bei B} = \frac{1}{2000} = \frac{26{,}62}{5{,}70} = 4{,}65.$$

Der Einfluſs der Pupillenblende macht sich, wie aus dem immer gröſser werdenden Verlängerungsfaktor (1,37—2,38—4,65) hervorgeht, mit der Adaptationszeit mitgehend in steigendem Maſse geltend. Hieraus folgt, daſs mit zunehmender Adaptationszeit die Pupillenreaktion von relativ immer stärkerem Einfluſs auf die Adaptation bzw. Anpassung ist. Da nun die Pupillenreaktion eine der primordialen Sehschicht des Dämmerungssehens eigene Funktion ist, erklärt sich dieses ebenfalls aus unserer Auffassung, daſs die primordialen Sehschichten bei zunehmender Adaptationszeit sich ebenfalls in zunehmendem Maſse gegenüber der abklingenden Tagesfunktion, auf die die Pupillenreaktion ohne Einfluſs ist, durchsetzen.

Am Schluſs wurden noch Versuche unter Verlängerung der A-Reiz Dauer ausgeführt. Hier fanden wir diesmal entgegen den entsprechenden Ergebnissen in § 4 und entgegen den Versuchsergebnissen bei Noldt (34) einen auf die Adaptationszeiten verkürzend wirkenden Einfluſs, so daſs diese Verhältnisse noch einer besonderen Klärung bedürfen. Die letzten Versuchsergebnisse sind jedoch für die hier vorliegende Arbeit von nebensächlicher Natur und sollen nur der Vollständigkeit halber mit ausgeführt werden.

Die Versuchsergebnisse sämtlicher Variationen bestärken die im ersten Teil dieses Paragraphen aufgestellten Erklärungen über das Wesen der Adaptationsvorgänge.

§ 6

Versuche mit monochromatischen B-Reizen

a) Bei ungleichen Helligkeiten der B-Reize (Tagesgleichung)

Die Versuche dieses Abschnitts wurden ganz analog denen des § 5a durchgeführt, nur dafs hier nicht nur die Helligkeiten des B-Reizes variierten, sondern dieser vor allem in verschiedenen bunten Farben dargeboten wurde. Es wurden mit Hilfe der schon in § 2 beschriebenen monochromatischen Lichtfilter ein grüner, ein blauer und zwei rote B-Reize verwendet. Die Absorptionsverhältnisse der Filter sind ebenfalls aus den in § 2 aufgeführten Absorptionsspektren im einzelnen zu ersehen. Die Helligkeitsverhältnisse der B-Reize wurden absichtlich auf Ungleichheiten belassen. Da bei allen Versuchen eine konstante Stromstärke für P_2, nämlich 0,55 Ampere, und das gleiche abschwächende Milchglas verwendet wurden, verhielten sich die Helligkeiten der verwendeten B-Reize ebenso wie die Helligkeiten, bzw. Durchlassungskoeffizienten der verwendeten Filter.

	Erwachsene					Jugendliche				
	Vp.	grün	blau	rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$)	rot ($\lambda > 630\ \mu\mu$)	Vp.	grün	blau	rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$)	rot ($\lambda > 630\ \mu\mu$)
a) weiblich	1. Gut.	2,64	9,54	4,26	> 60	1. Ans.	2,06	4,43	4,91	> 60
	2. Laa	3,04	4,34	5,10	54,09	2. Bar.	1,59	4,44	13,39	> 60
	3. Mül. M.	1,94	5,85	2,95	> 60	3. Erd. J.	2,14	6,36	—	> 60
	4. Yil.	1,14	4,47	2,32	> 60	4. Erd. L.	1,65	4,43	—	> 60
						5. Lau.	1,74	5,41	6,71	> 60
						6. Pfe.	2,38	5,20	10,50	> 60
						7. Schä.	2,80	5,29	—	> 60
b) männlich	5. Chu.	1,57	3,86	2,39	21,56	8. Brö.	1,15	4,56	22,88	> 60
	6. Hes.	3,25	7,75	7,91	32,36	9. Erd. F.	2,94	6,16	4,81	> 60
	7. Kes.	2,13	4,29	3,21	38,64	10. Mic.	1,43	4,38	2,18	> 60
	8. Kra.	2,21	6,28	—	> 60	11. Run.	1,84	4,95	5,84	> 60
	9. Mro.	2,57	7,13	—	> 60	12. Schm.	1,37	3,61	2,21	> 60
	10. Sam.	2,35	5,94	6,35	> 60	13. Wie.	2,10	6,86	7,54	> 60
	Mittelwert	2,28	5,95	4,31	> 50,67	Mittelwert	1,94	5,08	8,10	> 60
	a	2,19	6,05	3,66	> 58,52	a	2,05	5,08	8,88	> 60
	b	2,34	5,88	4,96	> 45,43	b	1,81	5,08	7,58	> 60

Bei rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$) konnten in beiden Tabellen einige Werte nicht aufgeführt werden, da uns dieses Rotfilter anfangs nicht gleich zur Verfügung stand

Diese Verhältnisse waren:

grün : blau : rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$) : rot ($\lambda > 630\ \mu\mu$)

= 1 : (1/4—1/3) : (5—6) : 1

Die absoluten Helligkeiten der B-Reize waren, auf den Helligkeitswert des A-Reizes bezogen:

$$\text{grün}: \frac{1}{2000},\quad \text{blau}: \frac{1}{8000}-\frac{1}{6000}$$

$$\text{rot } (\lambda > 600\ \mu\mu) = \frac{1}{400}-\frac{1}{350},\quad \text{rot } (\lambda > 630\ \mu\mu) = \frac{1}{2000}$$

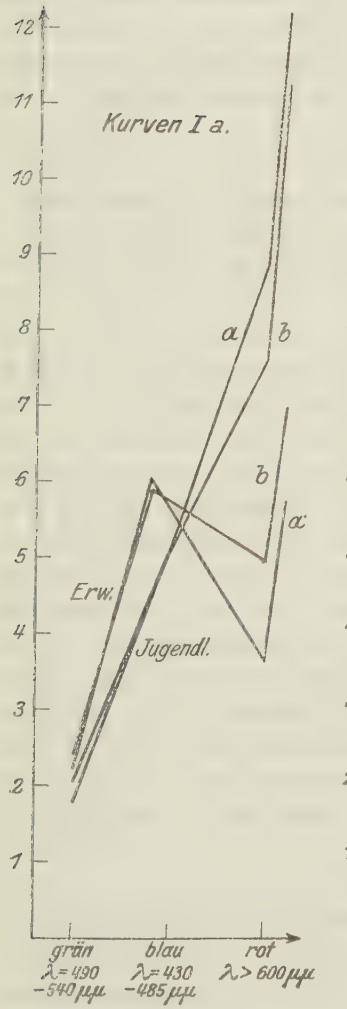


Abbildung 12

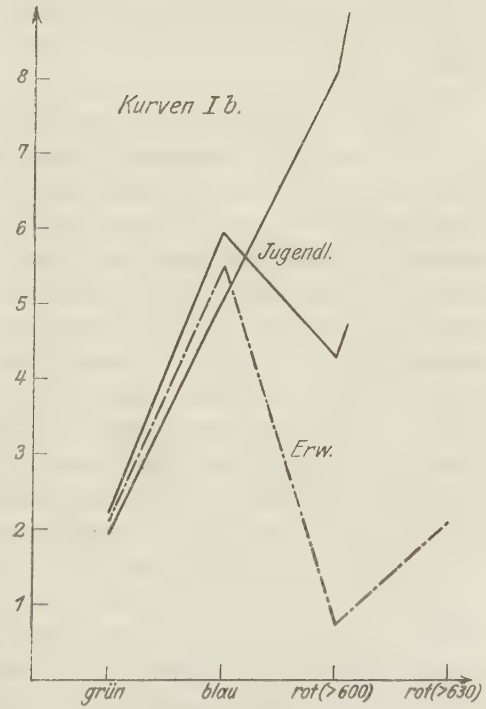


Abbildung 13

Der A-Reiz wurde wie gewöhnlich 5 Sekunden lang exponiert und die Beobachtung binokular unter Einhaltung des Fixierpunktes ausgeführt. Die nachfolgende Tabelle gibt eine übersichtliche Zusammenstellung der ermittelten Adaptationszeiten. Ganz entsprechend der Tabelle in § 5a sieht man die Mittelwerte der Erwachsenen am Schlufs der ersten und die Mittelwerte der Jugendlichen am Schlufs der zweiten Tabelle.

Unter den Mittelwertsreihen sind ebenso wie in § 5a die Mittelwerte nach Geschlechtern im einzelnen spezifiziert. Diese Mittelwerte sind in der nachfolgenden Kurvendarstellung 1a zum Ausdruck gebracht. Die Ordinate enthält hier die einfachen Adaptationszeiten, und die Abszisse gibt die farbigen Einstellungen des B-Reizes in der willkürlich gewählten Reihenfolge grün, blau, rot ($\lambda > 600\,\mu\mu$) und rot ($\lambda > 630\,\mu\mu$) an. Der Darstellungsweise liegt also $T = f(R_\lambda)$ zugrunde.

Bei rot ($\lambda > 630\,\mu\mu$) konnten die absoluten Werte der Adaptationszeiten, weil sie zu grofs ausfielen, und weil sie zum gröfsten Teil nur in Ungleichungen ermittelt wurden, nicht mitberücksichtigt werden. Auf diese Werte wurde nur durch die Tendenz der von rot ($\lambda > 600\,\mu\mu$) ausgehenden Kurve hingedeutet.

Man sieht aus der vorliegenden Kurvendarstellung ebenso wie aus der entsprechenden Kurvendarstellung 1a in § 5, dafs dem Geschlechte nach keine wesentlichen Unterschiede in den absoluten Werten und insbesondere in der Tendenz der Kurven vorhanden sind. Dagegen sind diese Unterschiede für die verschiedenen Lebensalter ganz erheblich; z. B. sind sowohl für die männlichen als auch für die weiblichen Jugendlichen die Adaptationszeiten für grün und blau kleiner, für rot ($\lambda > 600\,\mu\mu$) und rot ($\lambda > 630\,\mu\mu$) dagegen gröfser als die der Erwachsenen. Es handelt sich also auch hier im wesentlichen um die beiden typischen Kurven der Erwachsenen einerseits und der Jugendlichen andererseits. Im Interesse der Anschaulichkeit sollen diese beiden Hauptkurven unter Zusammenfassung der für die beiden Geschlechter erhaltenen Werte in der nachfolgenden Darstellung I b noch besonders wiedergegeben werden. Die Darstellungsweise ist im übrigen die gleiche wie in I a.

Die gestrichelte Kurve in vorliegender Darstellung gibt an, wie im Mittel die Hauptkurven verlaufen würden, wenn die im Tagessehen ermittelten Helligkeitsgleichungen bzw. Ungleichungen der verschiedenen farbigen B-Reize auch im Dunkelsehen noch

die gleiche Gültigkeit hätten. Mit anderen Worten ist also diese Kurve eine reine Helligkeitskurve, und die Hauptkurven würden diese einschliefsen, wenn die B-Reize nur in ihrer im Tagessehen ermittelten Helligkeit zur Wirkung kämen. Diese Helligkeitskurve wurde unter Zugrundelegung der Kurven und der Tabellenwerte des § 5a angenähert errechnet und hiernach konstruiert. Die Helligkeit des grünen B-Reizes wurde hierbei als Ausgangspunkt angenommen. Da blau dunkler und rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$) heller als grün, dagegen rot ($\lambda > 630\ \mu\mu$) gleich hell wie grün war, liegen auch diesen Verhältnissen entsprechend der blaue Kurvenpunkt höher und der rote ($\lambda > 600\ \mu\mu$) Punkt tiefer als der grüne, dagegen der rote ($\lambda > 630\ \mu\mu$) Punkt in gleicher Höhe wie der grüne Kurvenpunkt. Betrachten wir nun hiermit verglichen den Verlauf der Hauptkurven. Diese verlaufen von grün bis blau ganz gleich der konstruierten Helligkeitskurve, wodurch zum Ausdruck kommt, dafs bei grünen und blauen Farben das Verhältnis der Adaptationszeiten nur von den Helligkeitsverhältnissen bestimmt wird. Aus dem weiteren Verlauf der Kurven von blau bis rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$) und bis rot ($\lambda > 630\ \mu\mu$) sieht man aber, dafs die Hauptkurven jetzt nicht mehr einen den Tageshelligkeitsverhältnissen entsprechenden Verlauf beibehalten. Statt eines steilen Abfalls der Kurven z. B. von blau bis rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$) sieht man diesen Abfall bei den Erwachsenen nur gering und bei den Jugendlichen sogar noch ins Gegenteil gekehrt. Hier treten also umbestimmende Faktoren in beiden Kurven auf, die in einer gegenüber dem grün und blau relativ sehr starken Verdunkelung von rot liegen. Hier tritt also in den Adaptationsvorgängen in grofsem Ausmafs das Purkinjesche Phänomen ein und zwar bei den Jugendlichen in noch bedeutend stärkerem Mafse als bei den Erwachsenen. Diese letztere Tatsache wird durch die Betrachtung der in der Tabelle unter rot (630) aufgeführten Adaptationszeiten noch mehr erhärtet. Bei diesem rot war von den Jugendlichen keine einzige Vp. imstande, sich innerhalb von 60 Sekunden an diesen Reiz zu adaptieren, während bei den Erwachsenen 40 % der Vpn. dieses in einer mittleren Adaptationszeit von 50 Sekunden erreichten. Dieses Ergebnis fällt noch um so mehr ins Gewicht, wenn man bedenkt, dafs bei diesen langen Adaptationszeiten nach § 5 die Adaptation der Jugendlichen an und für sich etwa doppelt so gut wie die der Erwachsenen ist und diese Verhält-

nisse daher noch obendrein die Adaptation der Jugendlichen auf den roten Reiz beschleunigen mufsten.

Wenn man die an und für sich verschiedenen Adaptationsverhältnisse der Jugendlichen und Erwachsenen bei allen Kurvenpunkten der vorliegenden Kurvendarstellung mitberücksichtigt, sieht man, dafs bei den Jugendlichen im Verhältnis zu den Erwachsenen das Purkinjesche Phänomen in noch stärkerem Mafse eintritt, als dieses durch die Hauptkurven schon ohnehin angezeigt wird. Dafs für Erwachsene und Jugendliche verschiedene Ausmafs des Purkinjeschen Phänomens wurde für die einzelnen Farbenzusammenstellungen von uns in einer besonderen Methode errechnet. Diese Methode soll hier an einigen Beispielen klargelegt werden. Angenommen, man habe im Tagessehen einen grünen und einen roten Reiz vor sich. Beide Reize seien gleich hell. Die Helligkeit werde mit H_1 bezeichnet. Wenn weiterhin angenommen wird, dafs bei Verdunkelung des Beobachtungsraumes die ursprünglichen Farbengleichungen im Sinne des Purkinjeschen Phänomens ungleich werden und zwar so, dafs z. B. die Helligkeit von grün $= 3\ H_2$ und die von rot $= 1/3\ H_2$ wird, so kann man jetzt das Ausmafs des Purkinjeschen Phänomens durch einen Quotienten

$$Q = \frac{\text{Helligkeit von grün}}{\text{Helligkeit von rot}} = \frac{3\ H_2}{1/3\ H_2} = 9$$

bezeichnen. Zur Bildung dieses Quotienten ist die Helligkeit von H_2 ohne Einflufs, ebenso ist gleichgültig, ob $H_2 = H_1$ ist oder nicht. — In unseren Versuchen waren grün und rot ($\lambda > 630\ \mu\mu$) von praktisch gleicher Helligkeit. Bei den Erwachsenen entsprachen diesen B-Reizen die Adaptationszeiten von 2,28 Sekunden und 50 Sekunden. Unter Zuhilfenahme unserer Tabellen und Kurven aus § 5a findet man, dass der Adaptationszeit der Erwachsenen von 2,27 Sekunden eine B-Reiz-Helligkeit von angenähert $\frac{1}{1000}$ und der Adaptationszeit von 50 Sekunden eine solche von $\frac{1}{16000}$ entspricht. Nun ist in diesem speziellen Falle nach dem oben erklärten Verfahren der das Ausmafs des Purkinjeschen Phänomens angebende Quotient $Q = \frac{1}{1000} : \frac{1}{16000} = 16$. Wenn nun ungleich helle B-Reize verglichen werden, wie z. B. grün und rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$), mufs ebenfalls auf gleichem Wege ein

Quotient q errechnet werden, der dann noch mit 5—6 auf den endgültigen Quotienten Q zu multiplizieren ist, da rot ($\lambda > 600\ \mu\mu$) ja schon von vornherein 5—6mal so hell wie grün war. Nach diesen Berechnungsweisen wurden die nachstehend zusammengestellten Quotienten ermittelt.

	$\frac{\text{grün}}{\text{rot (600)}}$	$\frac{\text{grün}}{\text{rot (630)}}$	$\frac{\text{blau}}{\text{rot (600)}}$	$\frac{\text{blau}}{\text{rot (630)}}$
Erwachsene	10—12	16	20	24
Jugendliche	30	> 32	48	viel > 32

Man sieht hieraus deutlich, dafs bei allen Konstellationen das Purkinjesche Phänomen bei den Jugendlichen in bedeutend stärkerem Mafse eintrat als bei den Erwachsenen. Die Farbenzusammenstellungen sind in dem vorstehenden Schema so geordnet, dafs die linksstehenden Werte sich bei kürzeren, die rechtsstehenden Werte dagegen bei längeren Adaptationszeiten ergaben. Da der Quotient nun, wie besonders aus der oberen Spalte zu ersehen ist, mit der Zeit mitgehend gröfser wird, dürfte dies nochmals eine Bekräftigung für unsere an früherer Stelle aufgestellte Behauptung sein, dafs sich im Verlauf der Adaptation die primordialen Sehschichten in steigendem Mafse durchsetzen, und dafs überhaupt das Purkinjesche Phänomen in besonderen Funktionen bzw. Gesetzesmäfsigkeiten dieser Sehschichten wurzelt.

b) Bei gleichen Helligkeiten (Tagesgleichung)

In den Versuchen dieses Abschnitts wurden die gleichen Filter wie bei den vorhergegangenen Versuchen benutzt. Jetzt wurden aber die verschiedenen farbigen B-Reize auf tagesgleiche Helligkeiten gebracht. Diese einheitlichen Helligkeiten waren $\frac{1}{1000}$ der Helligkeit des A-Reizes. Zum Vergleich wurde noch ein farbloser weifser B-Reiz von ebenfalls gleicher Helligkeit hinzugenommen. Die nachfolgenden Tabellen stellen die gewonnenen Ergebnisse zusammen.

Die Anordnung dieser Tabellen ist die gleiche wie die im vorigen Abschnitt. Wie man aus den spezifizierten Mittelwerten der männlichen und weiblichen Vpn. sieht, treten bei diesen Versuchsergebnissen ebenfalls keine wesentlichen Unterschiede hervor, die im Geschlechte begründet liegen. Vielmehr liegen

Erwachsene

Vp.		grün	blau	weifs	rot (600)	rot (630)
a) weiblich	1. Gut.	1,41	1,41	2,02	8,51	3,77
	2. Laa.	1,25	1,53	3,81	26,00	27,88
	3. Mül. M.	0,75	0,99	3,09	9,27	12,97
	4. Yil.	0,80	0,92	1,04	7,02	3,08
b) männlich	5. Hes.	0,97	1,56	2,43	12,19	15,33
	6. Kra.	1,31	1,50	1,88	16,77	21,32
	7. Mro.	1,17	1,12	1,88	9,04	9,48
	8. Sam.	1,41	1,48	1,63	7,78	30,59
	Mittelwert	1,13	1,31	2,22	12,07	15,55
	a)	1,05	1,21	2,49	12,70	11,93
	b)	1,22	1,41	1,95	11,44	19,17

Jugendliche

Vp.		grün	blau	weifs	rot (600)	rot (630)
a) weibliche	1. Ans.	1,54	1,64	3,37	20,08	73,74
	2. Bar.	0,94	1,12	2,29	16,39	31,48
	3. Erd. J.	1,47	0,81	2,45	84,72	95,72
	4. Erdl. L.	1,05	0,98	1,85	7,88	8,70
	5. Hec.	1,24	1,01	3,10	8,03	8,83
	6. Pfe.	0,63	1,50	3,41	24,73	52,66
b) männliche	7. Brö.	1,07	1,24	1,92	39,37	44,36
	8. Erd. F.	1,31	1,42	3,07	40,41	58,70
	9. Mic.	0,88	0,92	3,43	5,12	19,84
	10. Run.	1,01	1,21	2,99	18,74	38,05
	11. Schm.	1,13	1,14	6,61	11,33	7,68
	12. Wie.	1,28	1,42	3,07	8,88	5,49
	Mittelwerte	1,13	1,20	3,13	23,81	37,10
	a)	1,15	1,18	2,75	26,97	45,19
	b)	1,11	1,22	3,51	20,64	29,02

auch jetzt wieder die typischen Unterschiede im Lebensalter, so dafs in der nachfolgenden Kurvendarstellung sogleich die Hauptkurve der Erwachsenen und die Hauptkurve der Jugendlichen dargeboten werden soll. Diese Kurven ergeben sich somit aus

den Gesamtmittelwertsreihen der Erwachsenen einerseits und der Jugendlichen andererseits. In der Kurvendarstellung wurden diesmal aus Raummangel nicht die Adaptationszeiten selbst, sondern deren Briggsche Logarithmen als Ordinatenwerte verzeichnet. Die Darstellungsweise ist daher $^{10}\log T = f(R_\lambda)$.

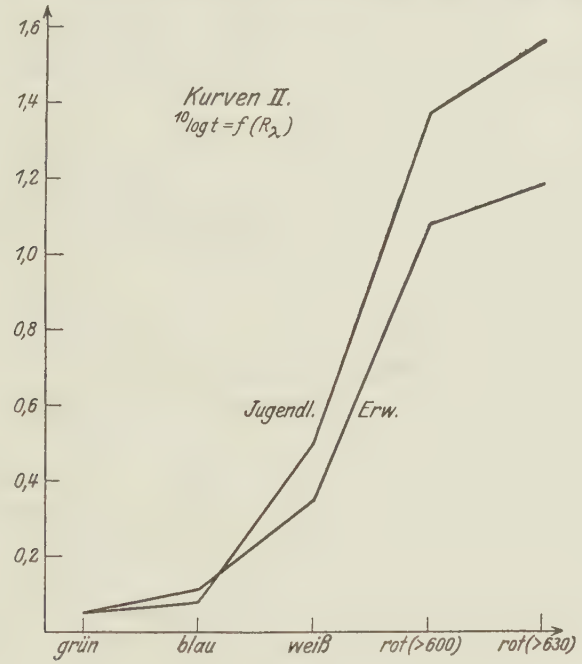


Abbildung 14

Aus obenstehender Darstellung geht ohne weiteres hervor, daſs das Purkinjesche Phänomen auch schon bei den ganz kurzen Zeiten (noch innerhalb der Momentadaptation) bei allen Vpn. eintritt und zwar bei den Jugendlichen in stärkerem Maſse als bei den Erwachsenen.

Der Verlauf der vorliegenden Kurven wird im wesentlichen durch 2 Komponenten determiniert, diese sind Purkinjesches Phänomen und Dunkeladaptation (Moment- und Daueradaptation). Wenn es gelingt, den letzteren Faktor zu eliminieren, so lassen sich neue Kurven errechnen, die nur noch vom Ausmaſs des Purkinjeschen Phänomens bestimmt werden, und die dann ein anschauliches Bild vom Ausmaſs dieses Phänomens bei den Erwachsenen einerseits und den Jugendlichen andererseits ergeben.

Da es sich hier in erster Linie um relative Feststellungen handelt, kann man die Kurve der Erwachsenen, indem man ihr die normale Adaptationsweise zuspricht, als Norm beibehalten und die Kurve der Jugendlichen so umrechnen, wie sie verlaufen würde, wenn ihr die Adaptationsweise der Erwachsenen zugrunde läge. Man sieht z. B. in der Tabelle bei den Jugendlichen für rot (600) eine Adaptationszeit von 23,81 Sek. Aus der Haupttabelle und insbesondere aus der Tabelle der Zeitverlängerungsfaktoren des § 5a sieht man nun, dafs bei den Helligkeiten, die dieser Adaptationszeit entsprechen, die Jugendlichen nur halb so lange Adaptationszeiten benötigen wie die Erwachsenen. Bei angenommen gleicher Adaptationsweise der Jugendlichen wie der Erwachsenen würden somit die Jugendlichen zur Erkennung dieses roten B Reizes die Adaptationszeit von $2 \cdot 23{,}81$ Sek. = 47,62 Sek. benötigt haben. Bei grün und blau sind die gleichen Erwägungen anzuwenden, die sich dann aber umgekehrt auswirken. Bei weifs wird die Adaptationszeit der Jugendlichen dann natürlich gleich der der Erwachsenen. Nach diesen Verhältnissen berechnet, werden die nachfolgenden beiden Hauptkurven nur noch von dem für Erwachsene und Jugendliche verschiedenen Ausmafs des Purkinjeschen Phänomens gebildet. Die Darstellungsweise ist ebenfalls logarithmisch.

Die gestrichelte Kurve gibt an, wie die beiden übrigen Kurven verlaufen würden, wenn nur die Helligkeiten und nicht die Farben bzw. die verschiedenen Wellenlängen von Einfluſs wären.

Aus vorliegender Darstellung läfst sich nun ebenfalls ohne weiteres aus dem Vergleich mit der gestrichelten Kurve ersehen, dafs das Purkinjesche Phänomen allgemein bei den Adaptationsvorgängen in starkem Mafse auftritt, dafs es in einer doppelten Wirkung, Aufhellung von blau und grün und Verdunkelung von rot besteht, und dafs es bei den Jugendlichen in weit stärkerem Mafse von Einfluſs ist als bei den Erwachsenen.

Der mathematisch Geschulte ersieht aus der letzten Darstellung auch leicht die genaueren quantitativen Verhältnisse. So z. B. haben die roten Kurvenpunkte der Erwachsenen und Jugendlichen einen mittleren, positiven Ordinatenabstand von 0,625. Dem Briggschen Logarithmus von 0,625 entspricht ein Numerus von 4,22. Das Verhältnis der Adaptationszeiten bei rot ist daher für die Erwachsenen und Jugendlichen = 1 : 4,22. Bei blau und grün

ist ein mittlerer, negativer Abstand von 0,20. Hier ist das Verhältnis der Adaptationszeiten daher = 1,58:1. Die Zeitspanne, die also zwischen der Erkennung der blauen und grünen Reize und der Erkennung der gleich hellen roten Reize lag, war somit bei den Jugendlichen 1,58·4,22 = 6,68mal so lang als bei den Erwachsenen, wobei die Adaptation für blau und grün bei den Jugendlichen eine kürzere Zeit und für rot eine längere Zeit als bei den Erwachsenen benötigte.

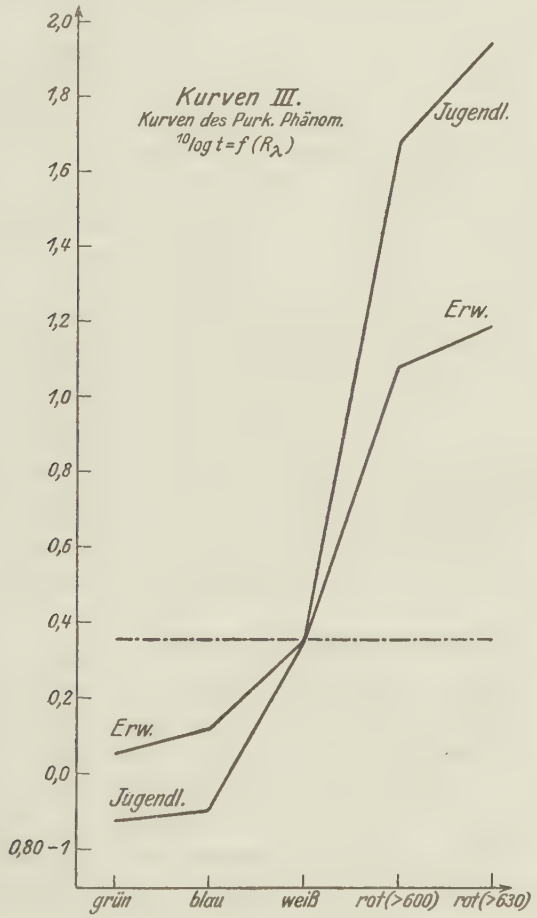


Abbildung 15

Nach dem schon im ersten Teile dieses Paragraphen erklärten Verfahren wurden für die Mittelwerte von blau und grün einerseits und die Mittelwerte der beiden rot andererseits die Quotienten Q,

die einen numerischen Ausdruck für das Purkinjesche Phänomen ermöglichen, berechnet. Diese Berechnung ergab für die

$$\text{Erwachsenen: } Q = \frac{\text{Helligkeit von blau-grün}}{\text{Helligkeit von mittl. rot}} = \frac{1/350}{1/5000} = 14{,}3$$

$$\text{und für die Jugendlichen: } Q = \frac{\text{Helligkeit von blau-grün}}{\text{Helligkeit von mittl. rot}} = \frac{1/150}{1/14000} = 93{,}3$$

Hiernach trat also das Purkinjesche Phänomen bei den Jugendlichen in 6—7mal so starkem Maſse wie bei den Erwachsenen ein.

Bei der integrierten, erwachsenen Vp. Lie. ergaben diese Berechnungen den Quotienten $Q = 50$. Nachfolgend sind die einzelnen Adaptationszeiten bei Lie. aufgeführt, die den obenstehenden Tabellenwerten entsprechen.

Vp.	grün	blau	weiſs	rot (600)	rot (630)
Lie.	0,92	1,09	1,38	27,00	31,27

Die hiernach zu konstruierende Kurve verläuft fast ganz genau so wie die schon oben dargestellte Kurve der Jugendlichen.

Auch diese letzten Ergebnisse bestärken nochmals unsere Erklärung, daſs das Auftreten des Purkinjeschen Phänomens an das Infunktionstreten primordialer Sehschichten gebunden ist und das Eintreten beider Funktionsweisen durch eine besondere psychophysische Integration, wie sie bei den Jugendlichen und den integrierten Erwachsenen vorliegt, in starkem Maſse gefördert wird.

Die relative Verdunkelung von rot war bei den Versuchen dieses Kapitels etwa doppelt so stark wie die relative Aufhellung von blau und grün, wie sich ebenfalls aus dem Vergleich der einzelnen Adaptationszeiten mit den Kurven des § 5 ergab. Nun kam aber die Verdunkelung von rot erst in einem späteren und die Aufhellung von blau und grün schon in einem früheren Zeitintervall zur Geltung. Wir konnten in den Versuchen des vorigen Kapitels schon zeigen und quantitativ sogar genauer ermitteln, daſs das Purkinjesche Phänomen mit zunehmender Adaptationszeit eine Steigerung erfährt. Diese Verhältnisse müssen natürlich berücksichtigt werden, wenn die verdunkelnde Wirkung mit der aufhellenden Wirkung quantitativ verglichen werden soll. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse wurde nun errechnet, daſs

beim Purkinjeschen Phänomen die relative Verdunkelung von rot angenähert gleich der relativen Aufhellung von blau und grün war.

Wie schon in der Einleitung zu dieser Arbeit ausgeführt wurde, erwiesen verschiedene Untersuchungen, dafs die Bedingtheit des Purkinjeschen Phänomens nicht ausschliefslich im Substrat des Sehpurpurs zu suchen sei. So ergaben die Untersuchungen von Koster (25), Shermann (44) und Tschermak (48) das Auftreten dieses Phänomens auch in der stäbchenfreien fovea centralis, und Versuche von Broer (4) erwiesen das Auftreten des Purkinjeschen Phänomens unter besonderen Verhältnissen (nämlich im Nachbild) sogar im Tagessehen. Wenn man die grofse Helligkeit unseres A-Reizes und andererseits die physiologisch aufgedeckte Tatsache des sehr leichten Ausbleichens und und der dagegen sehr trägen Regeneration des Sehpurpurs bedenkt, liegt auch nach unseren Ergebnissen, die ein starkes Ausmafs des Purkinjeschen Phänomens schon nach wenigen Sekunden erbrachten, die Vermutung nahe, dafs ebenfalls der Sehpurpur nicht als ausschliefsliche Ursache für das Phänomen anzusehen sei. Diese Vermutung wurde noch durch 2 Sonderversuchsreihen bestärkt. Bei beiden Versuchsreihen wurde die A-Reiz-Helligkeit auf 200 M.K. erhöht und im ersteren Falle wurde dieser A-Reiz 5 Sekunden und im letzteren Falle sogar 20 Sekunden lang exponiert. Die Helligkeiten der farbigen Reize waren in der ersten Versuchsreihe $= \frac{1}{1000}$ und in der zweiten Versuchsreihe $= \frac{1}{300}$, wobei diese Relationen sich wie gewöhnlich auf den ursprünglichen A-Reiz von 70 M. K. beziehen. Die nachstehenden Tabellen enthalten die Ergebnisse.

B-Reiz $= \frac{1}{1000}$:

Vp. Sam.	grün	blau	weifs	m. rot
A = 200 M.K. u. 5 Sek. expon.	3,05	4,26	5,03	24,47

B-Reiz $= \frac{1}{300}$:

Vp. Sam.	grün	m. rot
A = 200 M.K., 20 Sek. exponiert	2,14	21,29

Das Purkinjesche Phänomen trat also auch schon bei diesen Versuchen nach wenigen Sekunden in sehr starkem Maſse ein. Bei einer erst nach verhältnismäſsig längeren Zeiten entsetzenden Regeneration des Sehpurpurs und bei der hier wohl berechtigten Annahme, daſs der Sehpurpur durch den starken und im letzteren Falle sogar 20 Sekunden lang einwirkenden Reiz eine gänzliche Ausgleichung erfahren habe, müssen auch diese Ergebnisse ganz besonders die Anahme rechtfertigen, daſs das Purkinjesche Phänomen nicht ausschlieſslich mit der Regeneration des Sehpurpurs verkoppelt ist, sondern daſs es von umfassenderen Faktoren hervorgerufen wird.

§ 7

Über einige allgemeine Beobachtungen

Das Auftauchen der B-Reiz-Figur aus dem dunklen Intervall heraus wurde von den Vpn. als „plötzlich“ bezeichnet. Dies war somit ein Umstand, der die Genauigkeit der Reaktionen begünstigte.

Bei den Versuchen mit monochromatischen B-Reizen wurde von den meisten Vpn. keine bestimmte Farbe erkannt. Auf Befragen erklärten die Vpn. in den meisten Fällen, daſs die Figur von grauer Färbung gewesen sei. Dies soll hier besonders hervorgehoben werden, da diese Tatsache gegen jene Theorien spricht, die eine Deutung des Purkinjeschen Phänomens mit Gedächtnisfarben, mnemischer Koppelung von Helligkeitsvalenzen usw. in Beziehung bringen.

Bei einigen jugendlichen Vpn. war die vorstellungsnahe eidetische Anlage so stark ausgeprägt, daſs sie nach mehrfacher Wiederholung eines Versuches späterhin nach dem Verlöschen des A-Reizes die B-Reiz-Figur auch dann sahen, wenn diese gar nicht eingeschaltet war. Diese Vpn. waren dabei auf Grund des eidetischen Phänomens imstande, alle Einzelheiten der Figur

genau zu beschreiben. Die Versuchsergebnisse dieser Vpn. (es handelte sich um 4 Jugendliche) wurden in unseren Versuchsreihen natürlich nicht mit einbezogen. Diese besonderen eidetischen Phänomene wurden ebenfalls unter verschiedenen Versuchsbedingungen eingehend untersucht. Die Ergebnisse dieser Sonderversuche sollen aber, da sie mit der vorliegenden Arbeit in keinem unmittelbarem Zusammenhange stehen, an anderer Stelle dargelegt werden.

§ 8

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die aus der vorliegenden Arbeit im wesentlichen hervortretenden Resultate dürften folgende sein:

a) Dunkeladaptation (Moment- und Daueradaptation)

Die Dunkeladaptation, die im Anschluſs an eine vorausgegangene Hellerregung einsetzt, enthält 2 Prozesse, nämlich die Momentadaptation und die Daueradaptation. Die Momentadaptation liegt zeitlich am Anfang der Adaptationsvorgänge und ist im wesentlichen bestimmt von dem Abklingen der vorausgegangenen Hellerregung. Die Daueradaptation dagegen liegt zeitlich später und setzt um so stärker ein, je mehr die Momentadaptation, bzw. das Abklingen der Hellerregung seinem Ende zugeht. Diese Verhältnisse wurden unter Zugrundelegung des Schemas auf S. 40 veranschaulicht. Die Momentadaptation ist eine in den höheren Sehschichten des Tagessehens wurzelnde und mehr allonome, d. h. von äuſseren Reizen bedingte Funktionsweise, die Dunkeladaptation dagegen eine in den primordialen Sehschichten des Dämmerungssehens ruhende und mehr autonome Funktionsweise. Beide Arten der Adaptation überlagern sich mindestens während eines Zeitabschnittes des Abklingens und zwar die Momentadaptation in abnehmendem und die Daueradaptation in steigendem Maſse, während die Zeit fortschreitet. Daraus ergibt sich, daſs weder eine genaue funktionelle noch eine genaue zeitliche Scheidung beider Funktionsweisen möglich ist.

Ebenso wie Katz schon vermutete, kann man die Momentadaptation als eine die Daueradaptation überlagernde Funktion ansehen. Auch die Müllersche Theorie der rhodogenetischen Hemmung steht mit unseren Erörterungen in gutem Einklang, wie des näheren schon in § 5a ausgeführt wurde.

Übereinstimmend mit verschiedenen Autoren müssen auch wir die Bezeichnung „Momentadaptation“ für unzweckmäfsig halten, da sowohl der Begriff „Adaptation“ als auch die Bezeichnung „Moment“ irreführend ist.

Bei der Dunkeladaptation ist die Persönlichkeitsstruktur der Jugendlichen und die des integrierten Typus gegenüber der mehr desintegrierten Persönlichkeitsstruktur des Durchschnittserwachsenen im Vorteil. Da die Adaptation als eine besondere Anpassungserscheinung angesehen werden kann, reiht sich dieser Befund der allgemein erwiesenen Tatsache der gröfseren Labilität und gröfseren Beeinflufsbarkeit des integrierten Typus ein.

Bei der Momentadaptation ist die vor allem im Jugendalter auftretende Anlage zu nachbildnahen Phänomenen von besonders hemmendem Einflufs.

b) Purkinjesches Phänomen

Das Purkinjesche Phänomen tritt allgemein bei der Dunkeladaptation in starkem Mafse auf und zwar sowohl bei der Moment- als auch bei der Daueradaptation. Mit zunehmender Dunkeladaptation erfährt das Purkinjesche Phänomen jedoch eine deutliche Steigerung. Dies erklärt sich daraus, dafs das Phänomen (wie aus unseren Ergebnissen hervorgeht) eine Funktion der primordialen Sehschichten ist, und diese Sehschichten mit zunehmender Adaptationszeit auch zunehmend an Wirkungskraft gewinnen (wie unsere Ergebnisse in § 5a nachweisen konnten). Dafs das Purkinjesche Phänomen auch schon bei den ganz kurzen Zeiten der Momentadaptation eintritt, erklärt sich daraus, dafs auch hier schon, wenn auch noch in ganz minimalem Mafse, die primordialen Sehschichten in Funktion treten.

Das Purkinjesche Phänomen äufsert sich sowohl in einer relativen Verdunkelung von rot als auch in einer relativen Aufhellung von blau und grün, wobei die relative Verdunkelung von rot angenähert gleich der relativen Aufhellung von blau und grün ist, wenn vorher Helligkeitsgleichung bestand. Die Helligkeitsverschiebung des Purkinjeschen Phänomens äufsert sich sogar schon innerhalb des roten Bereiches durch eine relative Aufhellung der kurzwelligeren und eine relative Verdunkelung der langwelligeren Strahlen.

Allgemein stehen unsere Versuchsergebnisse mit den in § 1 dargelegten Heringschen Thesen in Einklang. Wenn nach diesen

Thesen das Purkinjesche Phänomen auch schon im peripheren Sehen auftritt, so dürfte das ebenfalls darin seine Erklärung haben, dafs im peripheren Sehen primordiale Funktionsschichten im Übergewicht sind (das Überwiegen primordialer Sehschichten im peripheren Sehen geht z. B. schon aus der hierbei vorliegenden erhöhten Bewegungsempfindlichkeit und schlechteren Farbenerkennbarkeit hervor).

Bei mittleren Adaptationszeiten konnten wir bei den mehr desintegrierten Erwachsenen eine relative Aufhellung von blau und grün gegenüber rot von 14,3 und bei den mehr integrierten Jugendlichen von 93,3 ermitteln. Das Purkinjesche Phänomen trat also beim integrierten Persönlichkeitstypus in 6—7fach so starkem Mafse auf wie bei dem mehr des integrierten Typus. Dies erklärt sich wohl in folgender Weise: Der integrierte Typus vermag infolge seiner allgemein erhöhten Anpassungsfähigkeit sich in besonderem Mafse auf primordiale Sehschichten, sobald dies akzidentell erforderlich ist, einzustellen. Hierdurch kommen umgekehrt die primordialen Sehschichten und mit ihnen die in diesen Sehschichten wurzelnden, im Sinne des Purkinjeschen Phänomens liegenden Gesetzmäfsigkeiten, erhöht zum Ausdruck.

Besondere Versuche, die trotz sehr starker A-Reiz-Einwirkung (200 M.K., 20 Sekunden) ein deutliches Ausmafs des Purkinjeschen Phänomens schon nach wenigen (2—3) Sekunden erbrachten, bestärkten unsere Ansicht, dafs dieses Phänomen nicht ausschliefslich durch das Substrat des Sehpurpurs, sondern durch umfassendere Funktionszusammenhänge bedingt sei.

Unsere Versuchsergebnisse zeigen allgemein, dafs Farbenbeobachtungen von Adaptationsverhältnissen sehr stark beeinflufst werden. Da auch bei den Bedingungen des Photometrierens, insbesondere der heterochromen Farbenvergleichung, die Adaptationsvorgänge in Tätigkeit treten, dürfte es sich wohl empfehlen, diesen Adaptationsvorgängen, namentlich unter Leitung der von uns erhaltenen Ergebnisse, Rechnung zu tragen. So liegt z. B. schon eine Momentadaptation vor, wenn nur ein beobachtendes Auge vor eine Okularöffnung tritt.

Aufser den vorstehend zusammengefafsten positiven Ergebnissen dürfte in der hier vorliegenden Arbeit auch methodisch ein ganz neues Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Purkinjeschen Phänomens dargelegt sein. Dieses Verfahren,

welches sich der Adaptationsvorgänge als Hilfsfunktion bedient, dürfte auch in ähnlichen Untersuchungen des Licht- und Farbensinnes anwendbar sein.

Zum Schluſs sei es mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Prof. Dr. E. R. Jaensch für seine Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Zugleich danke ich nochmals allen Versuchspersonen, die sich mir in freundlicher Weise zur Verfügung stellten.

Lebenslauf

Ich, Alois Heinemann, wurde am 6. Mai 1900 in Osnabrück geboren. Ich besitze die preufsische Staatsangehörigkeit.

Von Ostern 1906 bis Ostern 1912 besuchte ich die Volksschule meines Geburtsortes und trat alsdann in das Lehrerseminar zu Osnabrück ein, welches ich von 1914–1920, nur unterbrochen durch meine Militärdienstzeit 1918, besuchte und im Februar 1920 nach bestandenem Lehrerexamen verliefs. Hierauf war ich einige Jahre kaufmännisch tätig und bereitete mich auf das Abiturium vor, welches ich als Externer an der Oberrealschule in Marburg a. L. bestand.

Vom Sommersemester 1923 bis zum Wintersemester 1923/24 studierte ich an der Universität in Münster i. W. und vom Sommersemester 1924 bis zum Wintersemester 1926/27 einschliefslich an der Universität Marburg Naturwissenschaften, insbesondere Philosophie, Psychologie, Mathematik und Physik.

Meine akademischen Lehrer waren:

in Münster: Prof. Brunswig, Prof. Goldschmidt, Prof. Janssen, Prof. Többen.

in Marburg: Prof. Fraenkel, Prof. Hensel, Prof. Neumann, Prof. E. R. Jaensch, Prof. Cl. Schaefer, Prof. F. A. Schulze, Priv.-Doz. Dr. Senftleben.

Ihnen allen, insbesondere aber Herrn Prof. Dr. E. R. Jaensch, bin ich zu aufrichtigem Danke verpflichtet.

Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. S.